



# Didáctica de la Química y Vida Cotidiana

J.M. Abraham, M.A. Adrià, R. Aguado, E. de las Alas, E. J. Almazán, E. Alonso Rodríguez, F.J. Arnáiz, S. Arnáiz, O. Avilés, F. Barbadillo, J.A. Barea, M. Barracó, J. Barraso, A. Blanco, A. Borsese, I. Buendía, A. Caamaño, Y. Caballero, M.P. Cabildo Miranda, M. Calvo Hernando, A. Cambra, J.P. Canselier, I. Carrillo, M.L. Casalderrey, C.M. Castro Acuña, J.M. Castro Romero, J.L. Córdova, R.L. Cornejo, J. Corominas, R. Cruz, F. Díaz Sánchez, R.E. Domínguez Danache, A.E. Domínguez Pérez, M.A. Dosal, C. Escolástico, S. Esteban, V.M. Feregrino, F. Fdez. Martínez, J.M. Fdez. Solís, A. Fdez. Tena, S. Filardo Kerstupp, A.I. García Díez, C. García Manrique, M.V. García Pérez, L. García Soto, L.F. Garrido, A. Gómez Pedroso, P. González del Barrio, M.N. González Delgado, E. González Izquierdo, V. González Rodríguez, E. González Soto, M.J. González Tejera, F.J. Guijarro, M.C. Guijarro, M.T. Hernández Antolín, M. Hernández Arganis, M.C. Izquierdo, M. Jaume, M.R. Jiménez Liso, P.B. Kelter, M. Llano, A. Llavería, R. Llopis Castelló, J. Llorca, J.A. Llorens Molina, R.M. Losada, M. Lozano, L. Mammìno, E. Manuel Torres, M. Martín Sánchez, M.T. Martín Sánchez, F.J. Mnez. Casado, P. Mnez. Mena, J. Martínez Urreaga, M. Meijueiro, R.M. Melià, M.J. Melcón, J.L. Mier, F. Mijangos, A.D. Molina García, F. Montes de Juan, G. Müller, A. Narros, C. Orozco Barrenetxea, L.R. Ortiz, M.F. Paixão, M.R. Pedrosa, F. Peral, J. Pérez Iglesias, A. Pérez Serrano, C. Perronnet, J.A. Piano, G. Pinto, M.A. de la Plaza, R. Pozas, F. Pozas Requejo, M.M. Prieto García, M.T. Puigvert, M. Ramos Riesco, M.I. Redondo Yélamos, J.C. Reza, M.C. Rivero, J.A. Rodríguez Cheda, M. Rodríguez Pérez, B. Rohrig, I. Ros Clavell, J.I. Ruiz de Larramendi, G. Salazar, M.A. Sánchez Guadix, E.M. Santos López, H. Seco Lago, N. Solsona, P. Surrià, J. Tchadie, R. Torres Cámara, L.M. Trejo, M.D. Troitiño, D. Tudela, T. Unda, Univ. Alcalá, C. Uruga, S. de Vicente, G. Zabala, A. Zalts, A. Zúñiga

**Editor: Gabriel Pinto Cañón**

Edita e imprime: Sección de Publicaciones de la  
Escuela Técnica Superior de Ingenieros  
Industriales. Universidad Politécnica de Madrid.  
*Madrid, 2003.*  
I.S.B.N.: 84-7484-156-9  
Depósito Legal: M-19840-2003

Pedidos a:  
Sección de Publicaciones de la E.T.S.  
de Ingenieros Industriales  
c/ José Gutiérrez Abascal, 2 – 28006 Madrid  
E-mail: publicaciones@etsii.upm.es  
Tf.: 91 336 30 68 – Fax: 91 336 30 69

## CONTENIDO

	<u>Pág.</u>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<i>Anita Zalts, Gabriel Pinto Cañón</i> .....	9
<b>PARTE I. FUNDAMENTOS Y PROYECTOS EDUCATIVOS</b> .....	13
1. QUÍMICA COTIDIANA: ¿AMENIZAR, SORPRENDER, INTRODUCIR O EDUCAR?	
<i>M<sup>a</sup>. Rut Jiménez Liso, M<sup>a</sup>. Ángeles Sánchez Guadix, Esteban Manuel Torres</i> .....	15
2. ESTUDIO DE LOS CAMBIOS QUÍMICOS A TRAVÉS DE FENÓMENOS COTIDIANOS	
<i>Aldo Borsese, Soledad Esteban, Luis Miguel Trejo</i> .....	25
3. QUÍMICA COTIDIANA A TRAVÉS DE LA QUÍMICA SALTERS: LA QUÍMICA DEL COLOR Y LA QUÍMICA DE LAS MEDICINAS	
<i>Aureli Caamaño, M. Tura Puigvert, Rosa María Melià, Angels Llaveria, Josep Corominas</i> .....	33
4. DÉJATE SORPRENDER POR LA QUÍMICA EN TU VIDA COTIDIANA	
<i>Fernando Mijangos Ugarte, Gorka Zabala López de Maturana</i> .....	43
5. EXPERIENCIAS DE LA VIDA DIARIA EN LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA	
<i>Gabriel Pinto Cañón</i> .....	49
6. LA COCINA, EL LABORATORIO DE LA VIDA COTIDIANA	
<i>Núria Solsona Pairó</i> .....	57
7. NUEVA ESTRATEGIA DIDÁCTICA EN EL LABORATORIO DE FISICOQUÍMICA	
<i>Ramiro E. Domínguez Danache, Carlos Mauricio Castro Acuña</i> .....	67
8. LA QUÍMICA Y LA VIDA	
<i>Enrique de las Alas Pumariño</i> .....	73
9. QUÍMICA EN ACCIÓN: UNA EXPERIENCIA DE DIVULGACIÓN DE LA QUÍMICA	
<i>Facultad de Química de la Universidad de Alcalá</i> .....	81

10. ENFOQUE DE QUÍMICA COTIDIANA EN EL ANUARIO LATINOAMERICANO DE EDUCACIÓN QUÍMICA <i>Carlos Mauricio Castro Acuña, José Miguel Abraham, Paul B. Kelter</i> .....	83
11. MANIFESTACIONES QUÍMICAS EN ENTORNOS COTIDIANOS <i>M<sup>a</sup>. Antonia Dosal, Víctor M. Feregrino, Laura R. Ortiz, José Clemente Reza, José Luis Córdova</i> .....	89
12. UM EXEMPLO DO TRATAMENTO DO TEMA ÁCIDO-BASE CENTRADO NA INTERACÇÃO CIÊNCIA-TECNOLOGIA-SOCIEDADE E NA RESOLUÇÃO DE SITUAÇÕES PROBLEMÁTICAS <i>María de Fátima Paixão</i> .....	95
<b>PARTE II. RECURSOS DIDÁCTICOS: EXPERIMENTOS Y EJEMPLOS</b> .....	105
13. ¡EN CASA Y CON GASEOSA! <i>Paloma González del Barrio, Emiliano González Izquierdo</i> .....	107
14. VISUALIZACIÓN DE LA LEY DE HENRY PARA ALUMNOS DE ENSEÑANZA SECUNDARIA <i>Manuela Martín Sánchez, M<sup>a</sup>. Teresa Martín Sánchez</i> .....	115
15. EJEMPLOS RELACIONADOS CON ELECTROQUÍMICA PARA ALUMNOS DE ENSEÑANZA SECUNDARIA <i>Manuela Martín Sánchez, M<sup>a</sup>. Teresa Martín Sánchez</i> .....	117
16. QUÍMICA DE LOS CLOROISOCIANURATOS Y DESINFECCIÓN DEL AGUA <i>Gabriel Pinto Cañón, Brian Rohrig</i> .....	127
17. ENSAYOS DIDÁCTICOS DE CORROSIÓN ELECTROQUÍMICA <i>José Luis Mier, Ana Isabel García Díez, Laura García Soto, Fernando Barbadillo, Rosa María Losada</i> .....	135
18. EMBELLECIMIENTO DE OBJETOS DE LA VIDA COTIDIANA <i>Hervilia Seco Lago, Julia Pérez Iglesias, José M<sup>a</sup>. Fernández Solís, Victoria González Rodríguez, Elena González Soto, J. Manuel Castro Romero, Elia Alonso Rodríguez</i> .....	143
19. CONSTRUCCIÓN DE UN MINIAPARATO DE ELECTROFORESIS A PARTIR DE OBJETOS DE USO COTIDIANO <i>Ana Elizabeth Domínguez Pérez, Marta Rodríguez Pérez</i> .....	149

20. QUÍMICA DIVERTIDA: EXPERIENCIAS DE CÁTEDRA QUÍMICA PARA ESTUDIANTES DE NIVEL MEDIO <i>Consuelo García Manrique, Guillermina Salazar Vela, Michelle Hernández Arganis, Joaquín Barroso Flores</i> .....	155
21. LA PREPARACIÓN DE HALUROS DE COBRE (I) COMO MODELO DE PROCEDIMIENTOS SINTÉTICOS DE BAJO IMPACTO MEDIOAMBIENTAL <i>M<sup>a</sup> de los Remedios Pedrosa, Rafael Aguado, Susana Arnáiz, María Lozano, Francisco Javier Arnáiz</i> .....	163
22. LAS BEBIDAS: PRODUCTOS COTIDIANOS EN LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA <i>Ángel Blanco, Luis F. Garrido, Carmelo Uraga, José Antonio Barea, M<sup>a</sup>. Carmen Guijarro, Francisco J. Guijarro, Rafael Pozas, José Aldo Piano</i> .....	169
23. CAFÉ CARGADO, CHOCOLATE ESPESO: ¿ESTARÁN CONCENTRADOS? <i>Mercedes Llano Lomas, Graciela Müller Carrera, Oriana Avilés Ávila</i> .....	177
24. LA REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN APLICADA A UN PROBLEMA COTIDIANO <i>Rosa Luz Cornejo Rojas, Yolanda Caballero Arroyo, Ignacio Buendía Villar</i> .....	187
25. CINÉTICA QUÍMICA: ANÁLISIS DE UNA EXPERIENCIA PRÁCTICA EN EL AULA <i>Joaquín Martínez Urreaga</i> .....	191
26. EL PROCESO SOLVAY: UNA PRÁCTICA PARA ENLAZAR LA QUÍMICA INDUSTRIAL Y LA QUÍMICA COTIDIANA <i>Adolfo Narros Sierra, Joaquín Martínez Urreaga, Frutos Pozas Requejo</i> .....	197
27. TÉCNICAS INSTRUMENTALES DE ANÁLISIS QUÍMICO APLICADAS AL RECICLADO DEL PAPEL <i>M<sup>a</sup>. Teresa Hernández Antolín, Alberto Cambra, Coralie Perronnet, Isabel Carrillo, Francisco Fernández Martínez</i> .....	203
<b>PARTE III. SIMULACIONES Y ANALOGÍAS</b> .....	209
28. VELOCIDAD DE LA REACCIÓN QUÍMICA: MODELOS Y ANALOGÍAS <i>Joaquín Martínez Urreaga</i> .....	211

29. ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA PLANTA DE ÁCIDO NÍTRICO MEDIANTE SIMULACIÓN <i>Ángel Fernández Tena, María M. Prieto García</i> .....	219
30. INTRODUCCIÓN A LA GEOMETRÍA MOLECULAR UTILIZANDO PLASTILINA Y PALILLOS <i>David Tudela</i> .....	225
31. LA SIMULACIÓN Y/O EL JUEGO DE ROL COMO ESTRATEGIA PARA COMUNICAR CIENCIA: PROYECTO APQUA <i>Imma Ros Clavell</i> .....	233
<b>PARTE IV. QUÍMICA EN ACCIÓN</b> .....	239
32. SOBRE EL ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS EN LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA <i>Jordi Llorca</i> .....	241
33. QUÍMICA DE LOS FUEGOS ARTIFICIALES: UN RECURSO DIDÁCTICO TOMADO DE LAS FIESTAS POPULARES <i>Fernando Peral, M<sup>a</sup>. Dolores Troitiño, M<sup>a</sup>. Cruz Izquierdo, M<sup>a</sup>. Ángeles de la Plaza</i> .....	249
34. TRABAJANDO CON TENSIOACTIVOS: UN ENFOQUE APLICATIVO DE SU ACTIVIDAD ESPUMANTE <i>Teresa Unda Carbott, Jean Paul Canselier</i> .....	259
35. CRISTALES LÍQUIDOS: OTRO ESTADO DE LA MATERIA <i>Miguel Ramos Riesco, M<sup>a</sup>. Victoria García Pérez, M<sup>a</sup>. Isabel Redondo Yélamos, Francisco J. Martínez Casado, José A. Rodríguez Cheda</i> .....	267
36. METALES TÓXICOS PESADOS Y SUS EFECTOS SOBRE LA SALUD <i>José Ignacio Ruiz de Larramendi</i> .....	275
37. PILAS DE COMBUSTIBLE DE ÓXIDOS SÓLIDOS-S.O.F.C. <i>José Ignacio Ruiz de Larramendi</i> .....	283
38. QUÍMICA Y SALUD PÚBLICA: PESTICIDAS <i>Consuelo Escolástico León, M<sup>a</sup>. Pilar Cabildo Miranda</i> .....	293

39. ESTUDIO DE ARCILLAS QUE SE ENCUENTRAN EN NUESTRO ENTORNO Y APLICACIONES <i>Mercedes Meijueiro Morosini, Marta Rodríguez Pérez</i> .....	303
40. ALGUNOS ELEMENTOS ESENCIALES ENCONTRADOS EN CÍTRICOS INGERIDOS COTIDIANAMENTE <i>Marta Rodríguez Pérez, Mercedes Meijueiro Morosini</i> .....	309
41. LOS POLÍMEROS CONDUCTORES EN NUESTRO DÍA A DÍA <i>M<sup>a</sup>. Josefa González Tejera</i> .....	313
42. IMPORTANCIA DEL BUEN USO Y MANEJO DE LOS PRODUCTOS QUÍMICOS EN EL HOGAR <i>Guillermina Salazar Vela, Consuelo García Manrique</i> .....	321
43. EL CLORO EN LA VIDA COTIDIANA <i>Mateo Jaume</i> .....	325
44. POLÍMEROS: UNA PROPUESTA DIDÁCTICA <i>Juan A. Llorens Molina, Rafael Llopis Castelló</i> .....	331
45. VIDA BAJO CERO: LAS PROTEÍNAS ANTICONGELANTES <i>Antonio Diego Molina García</i> .....	339
<b>PARTE V: MISCELÁNEA</b> .....	347
46. LA QUÍMICA EN LOS CRUCIGRAMAS <i>Manuel Luis Casalderrey</i> .....	349
47. INTERÉS POR LA QUÍMICA A TRAVÉS DEL MEDIO AMBIENTE <i>Carmen Orozco Barrenetxea, Antonio Pérez Serrano, M<sup>a</sup>. Nieves González Delgado</i> .....	357
48. EL REACTIVO LIMITANTE: DE LO COTIDIANO AL RIGOR CIENTÍFICO <i>Graciela Müller Carrera, Teresa Unda Carbott, Mercedes Llano Lomas</i> .....	363
49. EXPERIENCIAS EN LA TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA A GRUPOS INDÍGENAS PARA LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS DE TOCADOR Y ALIMENTOS <i>Santiago Filardo Kerstupp, Armida Zúñiga Estrada, Rosalía Cruz Martínez, Elda J. Almazán Hernández, Eva M. Santos López, Fernando Díaz Sánchez</i> .....	371

50. SELECCIÓN Y PRESENTACIÓN DE REFERENCIAS A LA VIDA COTIDIANA EN LA PREPARACIÓN DE UN TEXTO DE QUÍMICA <i>Liliana Mammino</i> .....	375
51. LOS DIAGRAMAS DE RELACIONES MOLARES EN EL ESTUDIO DE LOS EQUILIBRIOS QUÍMICOS <i>Alberto Gómez Pedroso, Fernando Montes de Juan, Santiago de Vicente Pérez.</i>	383
52. PAPEL DE LA REOLOGÍA EN LA DIDÁCTICA DE LA QUÍMICA <i>Marc Barracó Serra, M. Àngels Adrià Casas, Ricard Torres Cámara, Pere Surià Lladó</i> .....	393
53. EL PORQUÉ DE LA QUÍMICA EN LA ENSEÑANZA DE LAS INGENIERÍAS <i>M<sup>a</sup>. Cristina Rivero Núñez, M<sup>a</sup>. José Melcón de Giles</i> .....	401
54. DISTEST: ESTUDIO CONCEPTUAL DE ALGUNAS DE LAS PROPIEDADES DE LA DISTRIBUCIÓN NORMAL MEDIANTE MICROORDENADOR <i>María M. Prieto García, Ángel Fernandez Tena</i> .....	409
55. LA QUÍMICA Y LA VIDA COTIDIANA <i>Manuel Calvo Hernando</i> .....	417
56. DIFUSIÓN DE LA QUÍMICA EN LOS MUSEOS DE CIENCIA <i>Pablo Martínez Mena, Jerry Tchadie Fuentes</i> .....	421
ÍNDICE DE AUTORES .....	431

## INTRODUCCIÓN

La Química es la Ciencia que estudia las propiedades de las diversas sustancias y sus transformaciones. Se trata de una definición breve y concreta. Sin embargo, probablemente no transmita a muchos lectores una idea cabal de la amplitud de los temas que esta disciplina abarca, ni la posición central que ocupa entre las ciencias naturales. Por ejemplo, muchos aspectos de la época contemporánea, a los que frecuentemente se alude en los medios de comunicación, están estrechamente vinculados con diferentes aspectos de la Química: el efecto invernadero, la lluvia ácida, el agujero de ozono, la producción de alimentos, las pilas alcalinas, atletas capaces de alcanzar nuevas marcas, los cosméticos, los medicamentos, la corrosión, la batería de un automóvil, la información nutricional, el tratamiento de los residuos urbanos, el problema de disponer de agua potable para una población cada vez mayor,... Es más, pocas veces tomamos conciencia de que estamos completamente sujetos a las leyes de la Química, y que cada momento de nuestras existencias depende absolutamente del complejo y altamente ordenado conjunto de reacciones químicas que tienen lugar en nuestros organismos y en todo lo que nos rodea.

Como vemos, la Química presenta una peculiaridad respecto de la definición de su territorio. Éste es un saber de múltiples rostros, de innumerables ramificaciones que se extienden tanto en las profundidades de la Tierra como en el espacio exterior, que concierne tanto a la industria pesada como a la producción de medicamentos altamente específicos y sofisticados. Nos encontramos ante una ciencia que traspasa las fronteras de lo inerte y lo vivo, entre lo microscópico y lo macroscópico; una ciencia que, siendo heredera de algunas de las técnicas más arcaicas que definen a la humanidad, produce materiales ultramodernos con propiedades específicas seleccionadas a priori.

La vastedad del territorio químico constituye de por sí un desafío y agrega ciertos condicionamientos al proceso de enseñanza-aprendizaje de la Química. Necesitamos construir modelos para racionalizar nuestro entorno. Por ejemplo, generamos y utilizamos modelos, a escala atómica o molecular, para representar conceptos y fenómenos complejos que nos sirven para comprender las manifestaciones de un material dado en el mundo macroscópico. Para comprender la Química, estos modelos son esenciales. Pensamos en términos de los modelos. Los químicos solemos dar mucha importancia a lo visual: queremos “ver” la Química, buscamos representaciones de moléculas y de cómo ocurre una reacción. Dibujamos esquemas de estructuras moleculares y pretendemos poner en evidencia una arquitectura en el espacio tridimensional. Empleamos toda clase de representaciones de enlace químico: desde dibujos de estructuras de puntos, líneas, zig zags, modelos moleculares con varillas, o combinaciones varilla-bola, hasta mapas de densidad electrónica y esquemas computacionales.

Una de las dificultades que se detecta en los diversos niveles educativos se puede resumir en el hecho de que el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Química

requiere una construcción mental capaz de relacionar la estructura microscópica (representada por modelos, no siempre fáciles de interpretar por quienes se acercan a la disciplina, de conceptos como átomo, molécula, enlace, electrones, etc.) y el comportamiento macroscópico de las sustancias (aspecto, propiedades, reactividad, etc.), mediante un lenguaje (conceptos científicos y la propia nomenclatura química) que además, suele resultar extraño, tanto para los alumnos de las materias relacionadas como para el conjunto de la ciudadanía.

Para el hombre social, el universo físico sólo existe por medio de la sociedad y, en consecuencia, por medio del lenguaje. Nuestro lenguaje conceptual tiende a fijar nuestras percepciones y, consecuentemente, nuestro pensamiento y comportamiento. En definitiva, *los límites de mi lenguaje denotan los límites de mi mundo*. Tal vez en esta idea esté contenido uno de los desafíos a los que nos enfrentamos como docentes: motivar a nuestros estudiantes para que dediquen esfuerzo a la adquisición de un nuevo lenguaje, pues el aprendizaje será significativo y útil para el individuo y la sociedad sólo si lo que se enseña pasa a formar parte del lenguaje y se incorpora a nuestro pensamiento y comportamiento; en suma: si expandimos los límites de nuestro mundo.

Como la Química está presente en todas partes y en todas las actividades humanas, la vida cotidiana encierra muchos temas de interés que pueden ser utilizados en el proceso de enseñanza-aprendizaje de esta disciplina. Busquemos la expansión de nuestro mundo partiendo de lo que nos es más familiar, de lo cotidiano. Esta búsqueda comienza por aprender a tener otra mirada sobre el mundo que nos rodea, preguntándonos qué está pasando, tratando de comprenderlo y de formular algunas respuestas. Que la curiosidad nos motive, que los modelos y las teorías vayan de la mano de los experimentos, y que podamos adentrarnos en el territorio químico, explorando, descubriendo, aprendiendo, compartiendo, viviendo.

Con esta perspectiva, auspiciada por la **Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología**, dependiente del Ministerio de Ciencia y Tecnología de España, se organizó una Jornada monográfica sobre “Didáctica de la Química y Vida Cotidiana”. Su objeto principal fue analizar y debatir ejemplos y experiencias para fomentar el aprendizaje de la Química, desde una doble vertiente: mostrando cómo esta Ciencia está involucrada en múltiples campos, y facilitando su aprendizaje con analogías y ejemplos de la vida cotidiana. Además, otro de los objetivos de la Jornada fue incentivar la comunicación de experiencias, metodologías y resultados alcanzados para fomentar el papel de la Química en la educación y promover la cultura científica (química) entre los ciudadanos.

La Jornada se celebró en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid, el 29 de Mayo de 2003. En este libro se recogen los textos de los trabajos presentados en dicho evento, en forma de exposiciones orales, carteles y discusiones. Los textos han sido elaborados por 126 autores, de Universidades, Centros de Enseñanza Secundaria y otras Instituciones de Argentina, España, Francia, Estados Unidos, Italia, México, Portugal y Sudáfrica.

El Comité de Honor de la Jornada estuvo constituido por:

- Excmo. Sr. D. Saturnino de la Plaza Pérez, *Rector Magnífico de la Universidad Politécnica de Madrid.*
- Ilmo. Sr. D. Carlos Vera Álvarez, *Director de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid.*
- Ilmo. Sr. D. José María Martínez-Val Peñalosa, *Director de la Fundación para el Fomento de la Innovación Industrial.*
- Ilma. Sra. D<sup>a</sup>. Rosa María González Tirados, *Directora del Instituto de Ciencias de la Educación de la Universidad Politécnica de Madrid.*
- Ilma. Sra. D<sup>a</sup>. Otilia Mó Romero, *Presidenta de la Sección de Madrid de la Real Sociedad Española de Química.*
- Ilmo. Sr. D. Marc Barracó Serra, *Secretario General del Comité en España de la International Society for Engineering Education (I.G.I.P.).*
- Ilmo. Sr. D. Francisco Belil Creixell, *Presidente de la Federación Empresarial de la Industria Química Española (FEIQUE).*

Para difundir el evento en un entorno lo más amplio posible, se constituyó un Comité Científico y Organizador integrado por docentes de áreas variadas de la Química, de diversos niveles educativos y de múltiples Centros de España y de otros países. Dicho Comité estuvo formado por los profesores:

- Gabriel Pinto Cañón (Presidente), *Universidad Politécnica de Madrid.*
- Francisco Javier Arnáiz García, *Universidad de Burgos.*
- Julio Casado Linarejo, *Universidad de Salamanca.*
- Manuel Luis Casalderrey García, *I.E.S. Sánchez Cantón de Pontevedra.*
- Carlos Mauricio Castro Acuña, *Universidad Nacional Autónoma de México.*
- Eulogio Castro Galiano, *Universidad de Jaén.*
- Antonio Echavarren Pablos, *Universidad Autónoma de Madrid.*
- Pilar Escudero González, *Real Sociedad Española de Química.*
- Luis Fernando Garrido Jiménez, *I.E.S. Portada Alta de Málaga.*
- Jordi Llorca Piqué, *Universitat de Barcelona.*
- Liliana Mammino, *University of Venda de Sudáfrica.*
- Manuela Martín Sánchez, *Universidad Complutense de Madrid.*
- María Teresa Martín Sánchez, *I.E.S. Fernando de Rojas de Salamanca.*
- Isabel P. Martins, *Universidade de Aveiro de Portugal.*
- José Luis Mier Buenhombre, *Universidade da Coruña.*
- Felipe Millán Doménech, *I.E.S. Domenico Scarlatti de Aranjuez (Madrid).*
- Juan Gonzalo Muga Francisco, *Universidad del País Vasco en Bilbao.*
- María Isabel Redondo Yélamos, *Universidad Complutense de Madrid.*
- Brian Rohrig, *Aurora High School de Ohio (Estados Unidos).*
- Juan José Vaquero López, *Universidad de Alcalá.*

- Santiago de Vicente Pérez, *Universidad Nacional de Educación a Distancia*.
- Anita Zalts, *Universidad Nacional de General Sarmiento de Argentina*.

Además de a la *Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología*, es de justicia el agradecimiento a otras organizaciones e instituciones que colaboraron de diversa manera en la celebración de la Jornada, como son:

- Asociación Española de Periodismo Científico.
- Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid.
- Federación Empresarial de la Industria Química Española.
- Fundación para el Fomento de la Innovación Industrial.
- Instituto de Ciencias de la Educación de la Universidad Politécnica de Madrid.
- International Society for Engineering Education.
- Journal of Chemical Education.
- Real Sociedad Española de Química: Grupo de Didáctica y Sección de Madrid.

Cabe destacar también la ayuda prestada por los profesores del Departamento de Ingeniería Química Industrial y del Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Madrid que constituyeron el Comité Local, integrado por: Encarnación Rodríguez Hurtado, José Losada del Barrio, Joaquín Martínez Urreaga, Ascensión Fernández López, María del Mar de la Fuente, Pilar García Armada, Carmen Matías Arranz, M<sup>a</sup>. José Molina Rubio e Isabel Paz Antolín. De forma especial se agradece la labor de Víctor Díaz Lorente, que mantuvo a punto las herramientas informáticas necesarias.

Este texto y la Jornada ya citada, forman parte de una acción global sobre “*Enseñanza-aprendizaje de la Química y vida cotidiana*” que incluye también la edición y mantenimiento de páginas en Internet sobre el tema, en la dirección:

<http://quim.iqi.etsii.upm.es/vidacotidiana/Inicio.htm>

En esta dirección, por ejemplo, se recoge este texto (con figuras y dibujos a color) para facilitar su divulgación.

Uno de los deseos de quienes se han implicado de forma más activa en estos trabajos es que sirvan para que los docentes, en los diversos niveles educativos, dispongan de herramientas complementarias para ayudarles en la tarea de formación, al objeto de que las nuevas generaciones aprecien cómo la Química soluciona problemas y ayuda a la mejora de las condiciones de vida. Si en alguna medida se satisface ese deseo, la labor habrá merecido la pena.

Mayo de 2003

Anita Zalts, *Universidad Nacional de General Sarmiento, Los Polvorines (Argentina)*  
Gabriel Pinto Cañón, *Universidad Politécnica de Madrid (España)*

**Parte I**

---

**Fundamentos  
y Proyectos Educativos**



## QUÍMICA COTIDIANA: ¿AMENIZAR, SORPRENDER, INTRODUCIR O EDUCAR?

*M<sup>a</sup>. Rut Jiménez Liso*<sup>1</sup>, *M<sup>a</sup>. Ángeles Sánchez Guadix*<sup>2</sup>, *Esteban de Manuel Torres*<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Didáctica de la Matemática y de las Ciencias Experimentales  
Universidad de Almería. e.m.mrjimene@ual.es

<sup>2</sup>I.E.S. Montes Orientales, Guadahortuna, Granada

<sup>3</sup>Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Universidad de Granada

*La multitud de fenómenos cotidianos que pueden introducirse en el currículo de Química es inmensa. La incorporación paulatina al aula de estos procesos químicos cotidianos, teniendo en cuenta las condiciones de uso que se exponen en este trabajo, conllevaría un mejor conocimiento de la materia a enseñar por parte del profesorado (intentando explicar lo que sucede antes de introducirlo en sus clases), promueve una renovación de las actividades y metodologías de enseñanza, y genera en los estudiantes un interés y una actitud más activa por la Química y por buscar explicaciones al mundo que nos rodea. Los fenómenos químicos que transcurren a nuestro alrededor, los que realizamos en el hogar al cocinar, al limpiar, etc. (la Química cotidiana o etoquímica) pueden pasar desapercibidos para el alumnado y, con ello, desperdiciar su alto valor educativo. Además, el alumnado puede considerarlos, con un carácter peyorativo o despreciativo, al considerarlos como unos ejemplos para “adornar”, como una Química “light”, descafeïnada, frente a los contenidos químicos de siempre (“los duros, los realmente importantes”). Muy al contrario, la Química de siempre puede transformarse (e innovarse) incorporando cuestiones y fenómenos cercanos y atractivos (incluso actuales, como el hundimiento del Prestige y la densidad del fuel) si tenemos precaución con los fenómenos que se incorporen, si los seleccionamos en función del nivel de exigencia y si los adecuamos al nivel de desarrollo cognitivo de los alumnos. En suma, si concretamos qué objetivos didácticos queremos lograr y de qué manera (fenomenológica o teórica), los queremos aplicar.*

### 1. INTRODUCCIÓN

El justo reconocimiento de la Química cotidiana como eje central del estudio de la Química requiere organizar el currículo en función de los fenómenos que suceden a nuestro alrededor. Esta orientación en la elaboración del currículo conlleva la conexión entre la ciencia escolar y la ciencia de la calle, con lo que se pretende lograr uno de los objetivos más deseados y perseguidos (al menos idealmente) de la educación científica: la alfabetización científica de toda la ciudadanía y, sobre todo, de los estudiantes de ciencias de cualquier nivel educativo.

La introducción de la Química cotidiana en el currículo obligatorio y post-obligatorio (incluido el nivel universitario), por tanto, puede ser asumida por todo el profesorado de estos niveles, aunque la manera con la que introducir esta Química cotidiana puede variar en función de los objetivos particulares: puede parecer que quien asuma como objetivos fundamentales (y casi exclusivos) de la E.S.O., el *adquirir conocimientos sobre teorías y hechos científicos y preparar a los estudiantes para poder seguir sin dificultades los estudios posteriores*, difícilmente centrará todos los contenidos de la Química en torno a la interpretación de los fenómenos químicos cotidianos.

Sin embargo, creemos que la Química cotidiana puede cumplir plenamente esos objetivos y, además, el resto de los objetivos marcados para la educación científica en Secundaria (y por extensión, los de cualquier nivel), como *despertar la conciencia respecto a la necesidad de conservar el medio natural y la salud; adquirir conocimientos sobre aplicaciones de la ciencia en la vida cotidiana; aprender a disfrutar haciendo ciencia; desarrollar actitudes científicas como la curiosidad, el espíritu crítico, la honestidad, la perseverancia, etc.* (1).

Queremos indicar, por tanto, que la ciencia cotidiana no debe restringirse a los contenidos actitudinales, a la motivación del alumnado, a introducir de una manera novedosa y atractiva para los alumnos los contenidos conceptuales y teóricos de siempre sino que es convertir el estudio de toda la Química en torno a las explicaciones e interpretaciones de los procesos químicos que suceden a nuestro alrededor.

La búsqueda de explicaciones a estos fenómenos no sólo ameniza el currículo sino que conlleva observar, describir, comparar, clasificar, teorizar, discutir, argumentar, diseñar experimentos, utilizar procedimientos, juzgar, evaluar, decidir, concluir, generalizar, informar, escribir, leer y, por tanto, hablar Ciencia (2), hacer ciencia, y aprender Ciencia y sobre la Ciencia (3).

## **2. LA QUÍMICA COTIDIANA ESCOLAR NO ES NUEVA PERO SÍ INNOVADORA**

La utilización por parte del profesorado de fenómenos químicos cotidianos es una inquietud que ha estado presente en la biografía escolar de muchos profesores de ciencias y en los intentos curriculares desde hace mucho tiempo, como así lo manifiestan Oliver y Nichols (4) al revisar la influencia de los cambios políticos y sociales sobre las aportaciones de los investigadores en Didáctica de las Ciencias y de la Matemática a la revista *School Science and Mathematics* (cuyo primer número fue publicado en 1900). En estos trabajos se destaca que, con el objetivo de motivar el interés de los alumnos hacia la ciencia, se proponen numerosos cursos de Ciencia general, como el de Gooddard en 1921, centrados en los estudiantes. Con este mismo fin empiezan a aparecer cursos estructurados en torno a las prácticas de laboratorio y Wirick (1921) destaca la importancia de emparejar los contenidos químicos con sus

implicaciones sociales para que los estudiantes aprecien la relevancia de la Química en sus vidas. En el ámbito de la Física, Herriot (1927) incorpora fenómenos físicos cotidianos en los currículos de Física y Pierce (1927) señala que la Química puede ser más atractiva ¡para las chicas! si se les muestra las aplicaciones para el hogar. Partridge y Harap (1933) y Curtis (1942) utilizan un listado de drogas, cosméticos y otros productos que se pueden consumir para acercar la ciencia a las necesidades de los estudiantes. Todos estos artículos han sido citados por Oliver y Nichols (4). Desde esta perspectiva histórica nos llama poderosamente la atención que muchos planteamientos actuales (que en algunos contextos se consideran como innovadores) hayan sido planteados y discutidos desde hace muchos años.

De Gabriel y Viñao (5) insisten en la importancia de que la Historia de la Educación establezca precedentes, antecedentes y limitaciones que rodearon el currículo y la práctica educativa contemporánea para evitar caer en un absurdo olvido (*presentismo* según los autores) que en ocasiones desvirtúa y empobrece los estudios sobre problemas educativos actuales. En esta línea, Bernal y Delgado (6) comentan las distintas propuestas metodológicas que surgieron en el primer tercio del siglo XX en torno a la “Escuela Nueva” y la “Escuela Activa”, basadas en la utilización de actividades centradas en los alumnos. En esa época, los contenidos de ciencias de los niveles educativos básicos debían seleccionarse en función de los intereses del niño y debían estar relacionados con asuntos que les fueran próximos y con situaciones de la vida cotidiana. En torno a estas perspectivas surgió en España un movimiento para dotar de marco pedagógico favorecedor de la Didáctica de las Ciencias que estuvo protagonizado por Margarita Comas, Vicente Valls y Rosa Sensat, con las experiencias concretas de desarrollo de enseñanza de las ciencias en el aula. Uno de los objetivos que se planteaban estas propuestas pedagógicas era mejorar la inserción en el mundo laboral, orientando las materias de ciencias hacia su aplicación en la agricultura, la industria o el comercio, su iniciación en los hábitos de higiene y cuidado corporal y, ¡para las niñas!, aplicaciones relativas a las tareas domésticas (7).

Por tanto, la inquietud por conectar la química escolar con la de la vida cotidiana no es nueva. Las inquietudes de los docentes de épocas precedentes así lo ponen de manifiesto y esta tendencia creemos se repite en la época actual. Cuando un profesor de Química quiere renovar su práctica docente parece que lo primero que piensa es en introducir más Química cotidiana. Sáez y Carretero (8), al exponer la respuesta del profesorado ante las recomendaciones de la entonces reforma educativa (9), señalan que, para los docentes, la innovación de la reforma significa diversificar las fuentes de información de los estudiantes, proponer actividades de aplicación de conceptos, promover el trabajo en grupo de los alumnos e *introducir ejemplos de la vida diaria*. Es decir, el objetivo ideal del profesorado por la alfabetización científica desde la ciencia cotidiana parece quedar reducida a aumentar el número de ejemplos tomados de la vida diaria.

Ahora bien, si asumimos como innovación aquellos procedimientos de enseñanza que se alejan del modelo didáctico de transmisión-recepción de conceptos

(10), la Química cotidiana no se contenta con adornar exclusivamente el currículo con ejemplos de la vida diaria ni con el aumento exclusivo de prácticas-receta de laboratorio, sino que implica alejarse de las rutinas transmisivas (tan habituales por la seguridad que aportan al profesorado). La introducción de actividades innovadoras debe ser el comienzo para aumentar poco a poco la exigencia de mejorar el currículo de Química, de ir pasando paulatinamente de pequeños cambios en el aula (innovaciones) a un diseño fundamentado y concienzudo del mismo, transformando (o tal vez conectando) las innovaciones en el aula hacia una investigación desde el aula.

A continuación, mencionaremos algunas actividades innovadoras sobre Química cotidiana para destacar que la apuesta por centrar el currículo de Química en los fenómenos cotidianos implica la decisión sobre el tratamiento que se le quiere conceder.

### **3. DECISIÓN SOBRE EL COMPROMISO CON LA QUÍMICA COTIDIANA: TRATAMIENTO DE LA QUÍMICA COTIDIANA**

Las actividades innovadoras publicadas sobre Química cotidiana suelen girar en torno a varios centros de interés, como son: el hogar y la limpieza, la cocina y la belleza (cosmética), o las actividades profesionales. Por ejemplo, la actividad que describe Peña (11) sobre las fibras textiles y el proceso de tintado con alumnas de 3º de F.P. II de la especialidad de textil, confección y piel con el objetivo principal de conectar a Química a la rama profesional de sus estudiantes. El autor comenta algunos contenidos que se pueden desarrollar; por ejemplo, los cambios físicos y químicos dependiendo del tinte utilizado y advierte de algunas variables que sus alumnas tuvieron que considerar para teñir adecuadamente la lana: desnaturalización por efecto del calor, malos olores provocados por las plantas tintóreas, efecto de la luz sobre el proceso de tintado y efecto del material utilizado como recipiente (lata) como entonador o mordiente.

La Química en la cocina suele ser el entorno cotidiano más utilizado y los alimentos los protagonistas de ella, porque supone la aplicación de las ciencias a un quehacer importante y útil en la vida cotidiana y su estudio permite fácilmente la integración de contenidos de diferentes materias. Del Cid y Criado (12,13) diseñan varias actividades, fundamentalmente para estudiantes de magisterio, en la que se utilizan la cocción de un plato de gambas o los platos de un menú formado por ensalada de lechuga, carne con guisantes y patatas, y manzana de postre, para estudiar contenidos como la ósmosis y la solubilidad de vitaminas, la conservación de guisantes y carne (según el color se observa su frescura) y la oxidación enzimática de la patata y de la manzana.

Los productos cosméticos también ofrecen una buena oportunidad para interpretar los fenómenos químicos que transcurren en la vida diaria. Por esta razón, Vivas (14) plantea experimentos sencillos de laboratorio sobre disoluciones, coloides, suspensiones, emulsiones, etc. para alumnos de la diplomatura de maestro y para los

de secundaria. En este ámbito, Lichtin y Radd (15) definen la “Ciencia Cosmética” como el diseño, la formulación, manufactura, estabilización, mecanismos de acción, etc. de los productos cosméticos y la participación de los diferentes equipos de la industria cosmética que intervienen en el proceso. Raymond (16) muestra la importancia que las empresas de productos de belleza conceden a los términos pseudocientíficos en su publicidad y refuerzan la idea popular sobre el “progreso científico” para vender mejor los productos que anuncian.

En nuestra opinión, los fenómenos cotidianos deben servir de base para la elaboración del currículo, más que quedar relegados al papel de “adorno” del contenido. No deben servir sólo para introducir o motivar sino para plantear situaciones problemáticas de las que surja la teoría y para aplicar ésta a la vida diaria. Al incorporar las actividades de Química cotidiana es preciso analizar si se va a utilizar de forma anecdótica, como mero *pasatiempo*, a modo de *ejemplo*, como puro *espectáculo* o como *entretenimiento*, es decir, un tratamiento como “experiencias florero” frente al uso de la química cotidiana como base para la elaboración del currículo.

#### **4. QUÍMICA COTIDIANA, ¡SÍ!, PERO CON CONDICIONES**

Para que la Química cotidiana no se reduzca a una mera introducción, para que ésta se convierta en el centro organizador del currículo y generador de situaciones problemáticas en el aula con la que aprender Química, no puede restringirse a un aumento de ejemplos o de situaciones conocidas; no vale utilizar exclusivamente objetos cotidianos para plantear los mismos ejercicios, algoritmos o prácticas-receta de siempre; no basta con trasladar estos mismos problemas a un entorno más familiar para el alumnado, manteniendo la misma metodología de enseñanza, los mismos conceptos y criterios de evaluación. Si queremos lograr la alfabetización química de los estudiantes, si queremos que conecten la Química escolar con la cotidiana es necesaria una transformación total del currículo, no sólo en la secuenciación de contenidos (que se centrarían fundamentalmente en cuestiones cotidianas) sino también en la práctica docente que promovería la indagación, la resolución de problemas (no sólo de lápiz y papel sino que también incluyan procedimientos de casa y de laboratorio) de forma colectiva y la búsqueda de explicaciones ante los fenómenos que podemos observar en nuestra vida.

Si no optamos por la Química cotidiana presente en todos los momentos (introducción, ejemplos, aplicación, actividades, problemas, laboratorio, evaluación, etc.), si la ceñimos a una mera introducción con la que captar la atención del alumnado con fenómenos curiosos de difícil explicación, para quedarnos exclusivamente en el espectáculo, corremos el riesgo de inducir un carácter mágico a la Química y de generar una imagen de dificultad (ante la incompreensión de algunos fenómenos por su nivel de exigencia) y, por tanto, una actitud negativa hacia ella. En algunas ocasiones, el profesorado, tras introducir el “espectáculo” de la Química cotidiana, tras lograr, en el mejor de los casos, el conflicto del alumnado con sus creencias habituales

(concepciones alternativas), suelen dar una explicación rápida (a veces, con poco fundamento) para salir del paso, renunciando, por un lado, a que los estudiantes resuelvan esa inquietud (que sigue siendo la mejor forma de aprender) y, por otro lado, cortando su iniciativa de solucionar el conflicto proporcionándoles una respuesta errónea o no totalmente cierta, quizás porque la resolución completa de la duda conllevaría un procedimiento más largo o porque el fenómeno no se puede explicar con los conocimientos que los alumnos poseen.

Por tanto, podemos resumir que las *condiciones de uso* de la Química cotidiana tienen que ver, en primer lugar, con el tratamiento que se le concede, permitiéndole ocupar el papel protagonista de los contenidos, de las actividades de clase, de los materiales utilizados y de los entornos donde se enmarcan todos ellos. En segundo lugar, con el nivel de exigencia de los fenómenos utilizados: el profesorado debe seleccionar una experiencia *adecuada*. Para ello, debe desarrollar todo el proceso, físico o químico, que transcurre, para ver si se adecua al nivel de desarrollo de los estudiantes. Por el hecho de ser cotidiano no significa que sea fácil (el proceso fotográfico es cotidiano; sin embargo, no es cotidiano ni por los materiales que se utilizan ni por el nivel de exigencia tan elevado del proceso fotoquímico).

Una tercera cuestión que debe resolver el profesorado es la adecuación del fenómeno cotidiano seleccionado a los objetivos didácticos y la planificación de la enseñanza en torno a los fenómenos químicos cotidianos.

Por último, un aspecto que también hay que considerar es la metodología didáctica en la que se insertan las referencias cotidianas. El proceso de utilización de los fenómenos debe ser un camino de ida y vuelta: partir de las referencias cotidianas para facilitar el aprendizaje de los contenidos teóricos implicados y que éstos se puedan aplicar a la vida cotidiana. Como hemos indicado, la metodología didáctica deseable tiene que ser la que potencie la investigación del alumnado.

## **5. APLICACIÓN DE LAS CONDICIONES DE USO A VARIOS FENÓMENOS COTIDIANOS**

Para poder seleccionar los fenómenos cotidianos necesarios para cada contenido es necesario contar con un abundante banco de referencias cotidianas. Los libros de texto proporcionan escasos fenómenos y algunos con un nivel de exigencia elevado para los estudiantes a los que, supuestamente, van destinados. Los medios de difusión de educación científica (congresos, revistas, secciones de innovación, webs, etc.) suelen ser otra fuente habitual de selección de actividades. Estas vías se ven enriquecidas si ampliamos la búsqueda a través de los “trucos domésticos” que aparecen en numerosas revistas.

En nuestro estudio hemos analizado 3600 “trucos domésticos” que aparecen en varios monográficos de tres revistas de tirada nacional (*Cosas de casa*, *Mía* y *Diez Minutos*). En una primera clasificación, los hemos agrupado según su función: “trucos” de limpieza, de cocina o de belleza. En cada uno de esos grupos hemos encontrado

numerosos productos de uso doméstico (vinagre, aceite, acetona, agua oxigenada, amoníaco, lejía, bicarbonato, limón, parafina, pasta de dientes, etc.) que ofrecen una amplia variedad de utilidades. La segunda clasificación la hemos desarrollado según el proceso químico que tiene lugar, con el fin de facilitar una primera selección a la hora de planificar y secuenciar la utilización de los fenómenos químicos cotidianos en el aula de Enseñanza Secundaria.

A continuación mostramos dos ejemplos tomados de ese estudio para destacar algunos de los obstáculos que suponen la utilización indiscriminada de la Química cotidiana:

- Uno de los trucos seleccionados de los propuestos por las revistas citadas es el uso del vinagre y la sal (o del limón y la sal) para la limpieza de objetos de cobre (incluidos los céntimos de euro). El cobre, por la acción del aire, forma una pátina que, fundamentalmente, está formada por óxidos, carbonatos y, en ocasiones, sulfuros de cobre. La experiencia ha enseñado que estos objetos vuelven a quedar relucientes si se limpian con vinagre y sal o con limón y sal. Un estudio teórico del proceso implicaría manejar simultáneamente muchos equilibrios (disociación del agua, del cloruro de sodio, del sulfuro de cobre, del ácido acético o del cítrico, de los acetatos o citratos de cobre, etc.). La actividad que podríamos proponer dependerá del nivel educativo en el que la apliquemos. Sería inadecuado emplear fenómenos químicos múltiples en la E.S.O. y en el Bachillerato, incluso para los estudiantes del último curso, pues éstos acaban de conocer por primera vez la naturaleza del equilibrio químico con lo que proponerle que controlen todas las variables de varios equilibrios es, cuanto menos, pretencioso. Sin embargo, nos parece aprovechable esta experiencia si la enfocamos como una pequeña investigación empírica en la que los alumnos deben llegar a la conclusión de que el ácido que contiene el vinagre (o el limón), juntamente con la sal, son imprescindibles para lograr la limpieza de los objetos de cobre con pátina.

El planteamiento del trabajo puede ser abierto (huyendo así de las experiencias-receta), los interrogantes de partida son, por ejemplo: ¿Es efectivo el procedimiento para lograr una buena limpieza?, ¿bastaría la sal?, o ¿bastaría el vinagre (o el limón)?.

El estudio fenomenológico, que hemos podido aplicar con estudiantes de 4º de E.S.O., lleva a la solución de que el vinagre por sí solo no limpia lo suficiente, de que la sal no se puede utilizar para frotar el cobre (los céntimos), y que es imprescindible añadirla al vinagre para que se limpien. Los estudiantes, tras realizar diversas observaciones con óxido de cobre, añadiéndole vinagre, acético y la mezcla de ambos con sal, midieron con pH-metros los valores del pH de las cuatro disoluciones, comprobando que al añadir la sal al vinagre o al acético (10%) se reducía el valor del pH. Este fenómeno hubiera requerido un tratamiento bastante complejo para dar una explicación adecuada, sin embargo, de forma fenomenológica los estudiantes pudieron comprender por qué tradicionalmente se añade sal al vinagre para limpiar el cobre.

- Un segundo caso que abordamos con los estudiantes (tanto de 4º de E.S.O. como de 1º de Magisterio, especialidad de Enseñanza Primaria) fue analizar por qué la Coca-Cola normal se hunde en un cubo lleno de agua mientras que la Coca-Cola *light* flota, con objeto de tratar un contenido químico fundamental en Primaria y en la E.S.O.: la densidad. Cuando se les plantea esta cuestión a los estudiantes, suelen lanzar hipótesis con las que el profesor podría indicar cuál es la correcta (cortando cualquier iniciativa del alumnado a la experimentación) o incitar a los estudiantes a que comprueben experimentalmente cuál o cuáles pueden ser las correctas. Previamente a la experimentación, los estudiantes debatieron sobre el procedimiento que iban a seguir. Algunos de los procedimientos más repetidos fueron: pesar las latas sin abrir, pesar los líquidos y las latas por separado, medir los volúmenes de los líquidos, etc. Antes de comunicar los resultados, la profesora les comentó la posibilidad de que la lata de Coca-Cola *light* tuviera menor densidad que el agua y, por ello, flotara. El argumento “científico” utilizado fue que la lata era de aluminio y éste es menos denso que el agua. Resultó curioso que los estudiantes renunciaran a los resultados de su experimentación (en los que se ponía de manifiesto la densidad menor del líquido “*light*” aunque pesara más la lata de Coca-Cola *light* frente al líquido “normal”) para asumir el argumento erróneo aportado por el profesorado. Este cambio de actitud permitió el debate sobre los argumentos pseudocientíficos, sobre no asumir como única y verdadera la información “de prestigio” y la importancia de los procedimientos y metodologías científicas.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. N. Sanmartí, *El diseño de unidades didácticas*, en F.J. Perales y P. Cañal (Eds.), *Didáctica de las Ciencias Experimentales*, pp. 239-266, Ed. Marfil, Alcoy (2000).
2. J.L. Lemke, *Aprender a hablar ciencia. Lenguaje, aprendizaje y valores*. Ed. Piados, Barcelona (1997).
3. D. Hodson, Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, **1994**, Vol. 12 (3), 299-313.
4. J.S. Oliver y B.K. Nichols, *School Science and Mathematics*, **1999**, Vol. 99 (2), 102-105.
5. N. de Gabriel y A. Viñao, *La investigación histórico-educativa. Tendencias actuales*, Ed. Ronsel, Barcelona (1997).
6. J.M. Bernal y M.A. Delgado, *Innovación y tradición en la enseñanza de las ciencias: Rosa Sensat y las lecciones de ciencias de la vida cotidiana*, en M. Martín y J.G. Morcillo, *Reflexiones sobre la Didáctica de las Ciencias*, pp. 245-251, Ed. Nivola (2001).
7. J.M. Bernal, *Alambique*, **2001**, Vol. 30, 111-119.
8. M.J. Sáez y A.J. Carretero, *Revista de Estudios del Currículum*, **1999**, 2 (2), 114-141.

9. M.E.C., *Real Decreto 1006/1991, de 14 de Junio por el que se establecen las enseñanzas mínimas para la Educación Primaria*, BOE de 13 de Septiembre de 1991.
10. F.J. Perales, J.L. Sierra y J.M. Vilchez, *Alambique*, Vol. **2002**, 34, 71-81.
11. J.L. Peña, *Alambique*, **2001**, Vol. 28, 63-68.
12. R. del Cid y A. Criado, *Alambique*, **2001**, Vol. 28, 77-83.
13. R. del Cid y A. Criado, *Aprendamos Física y Química preparando una ración de gambas*, en N. Elórtegui y otros, *XX Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*, Universidad de La Laguna (2002).
14. E. Vivas, *Alambique*, **2001**, Vol. 28, 69-76.
15. J.L. Lichtin y B.L. Radd, *J. Chem. Educ.*, **1987**, Vol. 64, 619-620.
16. N. Raymond (1988). *Cosmetics Advertising: A Look at the Foundations*. Paper presented at the Annual Meeting of the Association for Education in Journalism and Mass Communication, p. 41 (documento CS506326 de la base de datos ERIC).



## ESTUDIO DE LOS CAMBIOS QUÍMICOS A TRAVÉS DE FENÓMENOS COTIDIANOS

*Aldo Borsese*<sup>1</sup>, *Soledad Esteban*<sup>2</sup>, *Luis Miguel Trejo*<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Química y de Química Industrial, Universidad de Génova  
Vía Dodecaneso 31, 16146-Génova, Italia. educ@chimica.unige.it

<sup>2</sup> Departamento de Química Orgánica y Biología, Facultad de Ciencias  
Universidad Nacional de Educación a Distancia, Senda del Rey 9, 28040-Madrid

<sup>3</sup> Departamento de Fisicoquímica, Facultad de Química  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Edificio B (102), Ciudad Universitaria, 04510-México D.F.

*El concepto de reacción química es básico y eje central de los programas educativos de Química. En general, para introducirlo se utiliza la distinción entre cambio físico y cambio químico. A este propósito, investigaciones recientes indican que existe gran dificultad en los alumnos de todos los niveles escolares para diferenciar entre esos tipos de cambios que sufren los materiales. En este trabajo realizamos una revisión y análisis de la bibliografía más reciente sobre el concepto de cambio químico y exponemos algunas consideraciones y reflexiones que pueden favorecer la enseñanza de estos contenidos. Tal sería, entre otros medios, el empleo como ejemplificación en esta temática de fenómenos y materiales relacionados con la vida cotidiana.*

### 1. OBJETIVO

Realizar un análisis bibliográfico sobre los aspectos que dificultan la diferenciación de los cambios químicos y físicos y plantear recomendaciones respecto a la didáctica de los cambios de la materia en el ámbito de la enseñanza secundaria.

### 2. METODOLOGÍA

Se realiza una revisión de la bibliografía reciente sobre las ideas que acerca de cambio químico y cambio físico presentan algunos autores de artículos de opinión y de investigación educativa. Se selecciona y analiza todo ese material bibliográfico, que se compara con información para ser racionalizada y organizada.

### 3. INTRODUCCIÓN

El aprender y enseñar Química es una actividad humana muy compleja. En parte por el carácter mismo de esta disciplina, que contiene gran cantidad de conceptos sumamente relacionados entre sí, de manera que el aprendizaje de unos -aunque sean muy simples- va a depender del conocimiento previo de muchos otros, requisitos pues

de aquéllos. Además, su comprensión conceptual requiere que el alumno correlacione varios modos de representar la materia (niveles macroscópico, microscópico y simbólico) y sus interacciones (1,2).

Entre las ideas o principios más importantes de la Química está el concepto de cambio químico (3,4). Normalmente este concepto se define desde un punto de vista microscópico. Así, por ejemplo, se afirma que involucra interacciones de nubes electrónicas entre los átomos de la materia (5) o que ocurre cuando los átomos se unen entre sí de manera distinta y se forman nuevas sustancias con propiedades diferentes (4) o que da como resultado nuevas partículas con un reagrupamiento distinto de los átomos implicados (6).

Como profesores de Química, consideramos que sería suficiente que al mostrar a los alumnos diversas reacciones químicas, fuesen capaces de comprender qué ocurre con las partículas involucradas. Sin embargo, los resultados de investigaciones educativas recientes (7-10) concluyen que suelen tener muchas dificultades en hacer una distinción entre cambios químicos y cambios físicos. Así, algunos alumnos piensan que una disolución, un cambio de estado, una dilución (como sería la de un concentrado de zumo con agua), etc., son reacciones químicas; otros creen que un cambio químico se asocia a una pérdida de masa, a una expansión de volumen o a un cambio de color producidos durante un calentamiento (11,12). En definitiva, como el mundo molecular y el lenguaje de la Química son familiares para el docente pero son abstractos y confusos para el estudiante “novato” de los primeros cursos de enseñanza secundaria (13), no resulta demasiado importante y ni siquiera oportuno subrayar la diferencia entre cambios físicos y cambios químicos de la materia en los cursos de química básica de esos niveles.

#### **4. ENSEÑANZA TRADICIONAL SOBRE CAMBIOS QUÍMICOS Y FÍSICOS**

El concepto de cambio químico, junto con el de conservación de la masa, están presentes en los primeros temas de la mayoría de cursos de Química de nivel de enseñanza secundaria desde hace más de un siglo (5). En la enseñanza tradicional del concepto reacción química se llevan a cabo numerosas actividades, sobre todo pequeños experimentos relacionados con la vida cotidiana (14). Para explicar éstos se parte de átomos y se procede a hablar de moléculas, de compuestos, de mezclas y de elementos para llegar así hasta la reacción química (11).

Un cambio físico se define como aquél en que la forma de la materia cambia, pero no sus propiedades químicas, como romper un papel, fundir hielo, o disolver sal o azúcar en agua (5). Y para distinguir si un cambio material es químico o físico se emplean diversos criterios (15,16), como se refleja en la tabla 1.

De esta manera, la disolución de sales en agua se propone como cambio físico, mientras la disolución de sales en los ácidos se considera como cambio químico.

Tabla 1. *Criterios establecidos para distinguir entre cambio químico y físico.*

<b>Criterio</b>	<b>Cambio químico</b>	<b>Cambio físico</b>
Energético	Produce grandes cantidades de calor	Produce pequeñas cantidades de calor
Reversibilidad	Difícilmente	Fácilmente
Apariencia	Incluye un cambio de color o de aspecto físico	No hay cambio de color o de aspecto físico
Enlace	Implica la ruptura de un enlace	No se rompe ningún enlace <sup>1</sup>

## 5. RESULTADOS DE INVESTIGACIONES RECIENTES SOBRE CAMBIO QUÍMICO Y CAMBIO FÍSICO

Con respecto al lenguaje, la palabra “cambio” se presenta muy frecuentemente sustituida por palabras como fenómeno, proceso, transformación o reacción. Y haciendo referencia concreta a *cambios de la materia*, se utilizan indiferentemente los términos “transformación”, “proceso”, “fenómeno” o “cambio”, aunque seguidos por los adjetivos “físico” o “químico”, en la convicción de efectuar una distinción útil y significativa (14).

Los alumnos, en general, confunden el concepto de “sustancia” con términos más generales como material o producto. Al no tener claro el concepto de sustancia, no distinguen entre mezcla y compuesto, ya que no tienen herramientas macroscópicas ni microscópicas para determinar si hay una o más sustancias. Es decir, entender el concepto de cambio de la materia supone la comprensión de la teoría atómica de Dalton y la visión de la naturaleza corpuscular de la materia (8-11).

A los alumnos de primeros niveles educativos les resulta confuso hacer la distinción entre cambio físico y químico porque muchos de ellos no captan el concepto de sustancia pura; por ejemplo consideran la fusión del hielo en agua como un proceso químico porque toman al hielo como una sustancia diferente al agua (8)<sup>2</sup>.

Para los alumnos, en un primer nivel de comprensión conceptual (observan los cambios macroscópicos pero no comprenden por qué ocurre un cambio), una reacción química es más bien un hecho con manifestaciones inusuales e inesperadas, tales como efervescencia, explosión o cambio de color. No aprecian que en un cambio que implique dos o más materiales hay una interacción mutua. No captan la idea de

<sup>1</sup> En realidad, también en los cambios de la materia que se denominan como físicos hay ruptura de “enlaces” .

<sup>2</sup> Por otra parte, esta distinción “macroscópica” entre cambio físico (en el cambio permanece inalterada la sustancia) y cambio químico (en el cambio se obtiene una sustancia diferente respecto a la de partida) no tiene sentido en un nivel “más microscópico”, donde los cambios se interpretan como debidos a ruptura y reconstitución de enlaces.

transformación como un proceso interactivo, que lleva de un estado inicial a uno final. Centran su atención en uno solo de los materiales participantes y luego consideran ese material como la causa del cambio que observan (7, 11). No tiene sentido, pues, para estos alumnos hacerles distinguir en las transformaciones de la materia entre físicas y químicas.

Los estudiantes en el segundo nivel de comprensión (intermedio) identifican un fenómeno químico como la formación de un nuevo producto. Sin embargo, presentan formas de razonar muy curiosas: a) Si existen dos reactivos, ocurre un cambio químico (disoluciones de azúcar en agua, ebullición del agua, etc.) pero si se parte de un solo material, el cambio ya no es químico (leche cortada, huevo cocido, etc.); b) Cuando aparece “algo más”, es decir, un nuevo material, no distinguen si se han formado nuevos productos (sustancias) o si es que los reactivos se han conservado durante la transformación. Esto muestra que no construyen el concepto de sustancia química (7). Se ha observado que muchos alumnos de este nivel intermedio piensan que los productos son una mezcla de reactivos (10).

Y en el tercer y último nivel de comprensión conceptual (relación entre la observación macroscópica y la estructura de la materia) los alumnos ya pueden relacionar las transformaciones químicas con cambios estructurales de los reactivos y de sus moléculas (7). Es decir, la visión microscópica e ideas de átomos y cambios en enlaces permiten que se entienda el fenómeno (10).

En resumen, la didáctica tradicional de las transformaciones de la materia ha sido poco satisfactoria en el sentido que los estudiantes comprendan esta temática.

## **6. LA OPINIÓN DE ESPECIALISTAS SOBRE LA DISTINCIÓN ENTRE CAMBIO QUÍMICO Y CAMBIO FÍSICO**

En el siglo XIX se consideraban cualitativamente diferentes los enlaces llamados físicos de los químicos, razón por la cual se hizo la distinción entre cambio físico y cambio químico. Sin embargo, en el siglo pasado, la mecánica cuántica demostró ampliamente que la naturaleza de los enlaces es única, exclusivamente electromagnética, manifestada entre los electrones y las cargas nucleares. Los enlaces difieren sólo en grado y no en calidad (14).

Opiniones similares a éstas señalan que es redundante distinguir entre cambio químico y físico. Por una parte, porque estos términos intentan reemplazar a un espectro continuo de cambios con una dicotomía innecesaria (5, 17, 18) y, por otra, porque para cada uno de los criterios empleados para mostrar esa diferencia se puede encontrar un contra-ejemplo (16). En resumen, al no poderse establecer unos límites nítidos entre los cambios físicos y los químicos, hacer esta distinción en el aula no representa una ayuda pedagógica ni tampoco resulta significativo desde el punto de vista científico (14) y este hecho ayuda, en cambio, a establecer que el conocimiento científico no es algo rígido e imposible de ser modificado. (15).

## 7. PROPUESTAS DE ENSEÑANZA SOBRE CAMBIO QUÍMICO Y FÍSICO

A pesar de la controversia de enseñar o no la distinción entre cambio químico y físico, consideramos que estudiar la temática de los cambios de la materia con propuestas novedosas ayudaría a que el alumno progresase en el desarrollo de sus ideas científicas.

En general, los maestros y los educadores sabemos que a los estudiantes les atrae el espectáculo, la diversidad, la posibilidad de relacionar los principios de la Química con aspectos familiares. Les gusta también oír acerca de los últimos avances en Química y sentir que es un campo de estudio dinámico y perteneciente a su mundo cotidiano. De esta manera, al desarrollar los principios de la Química se recomienda el uso de contextos familiares, de elementos y compuestos comunes, y de acciones habituales (4), tales como añadir sal a la sopa, añadir azúcar al café, romper vidrio, emplear piezas metálicas y plásticos, lavarse las manos con jabón, hervir agua, fundir el hielo, evaporar alcohol, derretir cera o mantequilla, hacer caramelo, preparar “palomitas” en un horno de microondas, hornear un pastel, cocer un huevo, quebrar sal de mesa y azúcar, quemar papel, prender una vela, ver madurar un plátano verde, observar cuando la leche se corta, blanquear la ropa con lejía, observar la corrosión de metales, etc. (7). Lo más deseable y adecuado sería así buscar un buen equilibrio entre estas experiencias y las desarrolladas en el laboratorio de Química.

El tema de los cambios de la materia puede introducirse y discutirse vía observaciones de transformaciones reales realizadas por el alumno en el laboratorio y, en segundo término, como experiencias de cátedra en vivo o en vídeo (3). Habría que evitar el tratamiento tradicional y, en su lugar, facilitar que los estudiantes, por ellos mismos, se den cuenta de que una reacción química significa producir nuevas sustancias que no existían antes (12), y promover que hagan preguntas, que realicen observaciones, que generen especulaciones, que argumenten,... (8, 19).

Una propuesta es estudiar las sustancias y sus transformaciones, haciendo ver la diversidad de materiales que nos rodean, tratando de buscar explicaciones a las interacciones que ocurren entre ellas (20).

Lo más recomendable sería iniciar este tratamiento introduciendo conceptos científicos básicos, permaneciendo en el nivel macroscópico, a fin de entender el concepto de cambio de la materia como algo observable, como preámbulo para que el alumnado pueda llegar, más adelante, desde el mundo perceptible de lo macroscópico hasta el nivel microscópico (14).

Después se puede proceder a la definición operacional de sustancia química a partir de sus propiedades específicas (apariencia, color, olor, etc.) y también diferenciar ésta del concepto de mezcla vía actividades experimentales (21). De esta manera, se conseguirían integrar los conocimientos estudiados.

Entonces se puede llegar a la interpretación de los cambios de la materia a nivel microscópico. Si se afirma que “la Química es romper y formar enlaces”, entonces en todos los cambios químicos en los que está involucrada la materia habrá

ruptura de unos enlaces y formación de otros nuevos (14). En este punto, se recomienda establecer las relaciones adecuadas entre los niveles macroscópico y microscópico para que el alumno emplee criterios científicos (21). Por ejemplo, se recomienda evitar el criterio de irreversibilidad para identificar un cambio químico (9,10).

## 8. CONCLUSIONES

Nuestro estudio pretende ayudar al progreso de las ideas de los alumnos acerca de los cambios de la materia. Consideramos que la distinción convencional entre cambio químico y cambio físico no tiene demasiado sentido en cursos básicos de química donde los alumnos no poseen los requisitos necesarios para comprenderlo. Tampoco parece útil diferenciar los cambios de la materia con alumnos que se encuentran en lo que hemos llamado “segundo nivel de comprensión”, mientras que en cursos avanzados, con estudiantes que tengan un buen conocimiento de la Química y que han alcanzado el “tercer y último nivel de comprensión”, la discusión sobre las razones históricas que condujeron a esta distinción favorecerá la reflexión y una visión menos dogmática de esta ciencia. En cualquier caso, es fundamental tener claro el concepto de sustancia.

Finalmente, para los cursos básicos de Química, recomendamos realizar un balance entre experiencias cotidianas y de laboratorio, haciendo énfasis en la observación, discusión, explicación y razonamiento, a fin de favorecer la secuencia en la comprensión conceptual de esta temática.

## REFERENCIAS

1. D. Gabel, *The Complexity of Chemistry and Implications for Teaching*, en B.J. Fraser y K.G. Tobin (Eds.), *International Handbook of Science Education*, Ed. Kluwer, Dordrecht (1998).
2. A. H. Johnstone, *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, **2000**, Vol. 1 (1), 9.
3. R.J. Gillespie, *J. Chem. Educ.*, **1997**, Vol. 74, 862.
4. J. Holman, *Educ. Chem.*, **2001**, Vol. 38, 10.
5. W. B. Jensen, *J. Chem. Educ.*, **1998**, Vol. 75, 817.
6. T. W. Shiland, *The Science Teacher*, **2002**, Vol. 69 (7), 48.
7. H. Stavridou y C. Solomonidou, *Int. J. Sci. Educ.*, **1998**, Vol. 20 (2), 205
8. M. Ahtee y I. Varjola, *Int. J. Sci. Educ.*, **1998**, Vol. 20, 305.
9. P. Johnson, *Int. J. Sci. Educ.*, **2000**, Vol. 22, 719.
10. P. Johnson, *Int. J. Sci. Educ.*, **2002**, Vol. 24, 1037.
11. R. Driver, A. Squires, P. Rushworth y V. Wood-Robinson, *Dando Sentido a la Ciencia en Secundaria: Investigaciones sobre las Ideas de los Niños*, Ed. Visor, Madrid (1999).

12. V. Barker, *Educ. Chem.*, **2000**, Vol. 38, 147.
13. K. Taber, *Educ. Chem.*, **2001**, Vol. 38, 28.
14. A. Borsese y S. Esteban, *Alambique*, **1998**, nº. 17, 85.
15. A. Dronsfield, *Educ. Chem.*, **2002**, Vol. 39, 122.
16. L. Glasser, *Educ. Chem.*, **2002**, Vol. 39, 39
17. T. Brosnan, *Educ. Chem.*, **1999**, Vol. 36, 56.
18. A. Goodwin, *J. Chem. Educ.*, **2002**, Vol. 79, 393.
19. Y. Reynolds y T. Brosnan, *School Sci. Rev.*, **2000**, Vol. 81 (296), 61.
20. C. Furió, R. Azcona, J. Guisasola, y C. Domínguez, *La Enseñanza y el Aprendizaje del Conocimiento Químico*, en: F.J. Perales Palacios, P. Cañal de León (Eds.), *Didáctica de las Ciencias Experimentales*, Ed. Marfil, Alcoy (2000).
21. R. Azcona, C. Furio, S. Intxausti y A. Alvarez, *¿Es Posible Aprender los Cambios Químicos sin Comprender qué es una Sustancia Química?: Importancia de los Prerrequisitos*, Actas del VI Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias, I.C.E. de la U.A.B., Barcelona (2001).



## QUÍMICA COTIDIANA A TRAVÉS DE LA QUÍMICA SALTERS: LA QUÍMICA DEL COLOR Y LA QUÍMICA DE LAS MEDICINAS

*Aureli Caamaño*<sup>1</sup>, *M.Tura Puigvert*<sup>2</sup>, *Rosa Maria Melià*<sup>3</sup>,  
*M<sup>a</sup>. Angels Llaveria*<sup>4</sup>, *Josep Corominas*<sup>5</sup>

<sup>1</sup> I.E.S. Barcelona-Congrés, <sup>2</sup> I.E.S. Alexandre Satorras (Mataró, Barcelona)

<sup>3</sup> I.E.S. Sant Adrià del Besós (Barcelona), <sup>4</sup> Escola GEM (Mataró, Barcelona)

<sup>5</sup> Col·legi Escola Pía de Sitges (Barcelona)

acaamano@pie.xtec.es

*Uno de los objetivos fundamentales del proyecto “Química Salters” es enfatizar la relación de la química con nuestra vida cotidiana, a la vez que se intentan mostrar las áreas punteras de la investigación química y los métodos que utilizan los químicos y las químicas en el mundo de hoy. La presente comunicación desea destacar cuáles son los aspectos de la vida cotidiana que la Química Salters toma como puntos de partida para el aprendizaje de la Química, y cuál es el interés y los resultados de un enfoque de esta naturaleza en nuestro bachillerato, haciendo especial énfasis en la presentación de las dos últimas unidades adaptadas: “Color por diseño” y “¿Qué es una medicina?”.*

### 1. INTRODUCCIÓN

La Química Salters (1) es una adaptación del proyecto británico *Salters Advanced Chemistry* (2) para la enseñanza de la Química en el bachillerato en España, que se ha publicado en tres versiones, dos en lengua castellana (3, 4) y otra en catalán (5). La característica principal de este proyecto es su enfoque de Ciencia-Tecnología-Sociedad (C.T.S.) (6) y su estructuración a partir de una serie de relatos o lecturas químicas, en el curso de las cuales se introducen los conceptos y las actividades precisas para la comprensión del tema y el aprendizaje de los contenidos curriculares de la Química de bachillerato.

La tabla 1 resume las unidades que constituyen el proyecto Química Salters: las ocho primeras corresponden a la adaptación realizada para cubrir los objetivos y contenidos del curriculum de Química del bachillerato, además de la unidad sobre una Visita a una industria química y la unidad sobre el Trabajo de investigación individual. Las tres últimas corresponden a tres unidades complementarias, desarrolladas por el grupo Salters de Cataluña, sólo disponibles de momento en catalán. Las dos últimas unidades: Color por diseño (7) y ¿Qué es una medicina? (8) constituyen excelentes ejemplos de esta orientación contextualizadora de la Química, que toma aspectos de la vida cotidiana para desarrollar, a la vez, los conceptos, los procedimientos y las actitudes propias de la Química en el bachillerato.

Tabla 1. *Unidades del proyecto Química Salters.*

1. Elementos de la vida
  2. Desarrollo de combustibles
  3. De los minerales a los elementos
  4. La atmósfera
  5. La revolución de los polímeros
  6. Aspectos de agricultura
  7. La química del acero
  8. Los océanos
  - V. Visita a una industria química
  - I. Investigación individual
- Unidades complementarias:*
9. El uso de la luz solar
  10. Color por diseño
  11. La química de las medicinas (¿Qué es una medicina? y Medicinas de diseño)

## **2. QUÍMICA COTIDIANA EN LAS UNIDADES DE LA QUÍMICA SALTERS**

La **Química Salters** estructura los contenidos a partir de ocho narraciones sobre aspectos de la vida cotidiana, tales como los elementos químicos que constituyen los seres vivos, el desarrollo de combustibles y la disminución de la contaminación provocada por los gases que se producen en la combustión; la obtención de elementos químicos a partir de minerales y las propiedades y aplicaciones de estos elementos y sus compuestos; la revolución que ha supuesto la obtención de polímeros en la vida diaria de las personas; el problema de la destrucción de la capa de ozono por parte de los CFCs y otros gases; el problema del incremento del efecto invernadero por el aumento del dióxido de carbono resultante de actividades humanas; la importancia de la agricultura en la producción de alimentos, y de los fertilizantes y pesticidas en optimización de las cosechas; la importancia del acero y los métodos para prevenir su corrosión; y la importancia de los océanos en la regulación del clima de la Tierra y de la cantidad de dióxido de carbono presente en la atmósfera.

A continuación abordaremos con más detalle los aspectos de la Química presentes en la naturaleza y en la sociedad que se abordan en cada una de las unidades Salters.

En **Elementos de la vida** se parte de un estudio de los elementos del cuerpo humano, de su papel en los organismos vivos y de su relación con algunas enfermedades. En particular, se relaciona la falta de hierro (II) con la anemia y la falta de calcio con la osteoporosis.

En **Desarrollo de combustibles** se realiza un estudio de los combustibles y, en concreto, de la gasolina. Se estudia cómo se obtiene, los distintos procesos a que se someten los derivados del petróleo para obtener gasolinas con un buen índice de octanaje, y el diseño de convertidores catalíticos de tres vías para conseguir reducir la contaminación que provoca la emisión de gases de los motores de combustión. A continuación, se analizan y se investigan algunos combustibles alternativos a la gasolina, como son los alcoholes.

En **De los minerales a los elementos** se realiza un estudio de la extracción y uso de tres elementos químicos: el bromo, el cobre y el plomo. El relato del **bromo** explica su extracción a partir de los bromuros del agua del mar, gracias a la reducción de los iones bromuro mediante cloro, y las medidas de precaución que deban tomarse para su transporte. A continuación se describen las aplicaciones actuales del bromo en la producción de ignífugos, la purificación del agua, la obtención de colorantes, de productos para la agricultura, y de bromuro de plata para la fabricación de películas fotográficas.

El relato del **cobre** explica su extracción a partir de diferentes minerales, el uso que se hizo del cobre en las antiguas civilizaciones, las minas de cobre más importantes del mundo, las antiguas minas españolas de Río Tinto, el proceso metalúrgico de obtención del cobre a través de las etapas de extracción, concentración, fusión y refinamiento electrolítico, y las aplicaciones actuales del cobre como material para elaborar objetos de decoración y de arte, así como la fabricación de cañerías de agua y cables eléctricos. Por último se estudian las aplicaciones de algunas de sus aleaciones (bronce, latón, y cupro-níquel).

En el relato del **plomo** se explica la importancia que ha tenido este elemento en la minería española, se describe el proceso de producción del plomo (a partir de la galena), la importancia de las aplicaciones del plomo en la actualidad (vidrios emplomados, soldaduras, pintura, esmaltes, pantallas de protección en las instalaciones de rayos X, baterías y acumuladores, etc.), y se llama la atención sobre su toxicidad.

La **Revolución de los polímeros** es un estudio del desarrollo histórico de los polímeros desde su descubrimiento hasta nuestros días y de los problemas de los residuos que generan. En esta unidad se cuenta la historia del descubrimiento y usos del polietileno de baja densidad (fabricación de aislantes eléctricos, bolsas, envases, etc.) y de alta densidad (fabricación de palanganas, bidones, tubos para conducciones, etc.); y de la invención del *nylon* y su impacto en la fabricación de fibras sintéticas. A continuación, se abordan las propiedades y aplicaciones de otros polímeros de interés: polímeros conductores, el *kevlar* y el PEEK( poli-éter-éter-cetona). Finalmente, se abordan los problemas que generan los residuos plásticos, profundizando en el debate sobre el uso de plásticos biodegradables o la alternativa del reciclaje.

La **Atmósfera** es una unidad que estudia la composición del aire de la atmósfera y la importancia de los procesos químicos y físicos que se producen en ella sobre la vida en la Tierra. El tema central de esta unidad son los cambios que se

producen en la atmósfera provocados por actividades humanas y sus efectos potenciales sobre la vida. Se evalúan dos problemas principales: la destrucción de la capa de ozono y la influencia de las actividades humanas en el calentamiento de la Tierra, como consecuencia del efecto invernadero. Se inicia la unidad con el estudio de la composición del aire y el papel del ozono de la atmósfera como protector de la radiación ultravioleta proveniente del Sol. A continuación, se estudia el proceso de formación y destrucción del ozono, la historia de los CFC y la gravedad de la crisis de la capa de ozono. En la segunda parte de la unidad se estudia la radiación que entra y que sale de la Tierra y los gases que producen el efecto invernadero para, a continuación, centrarse en las fuentes de producción y desaparición del dióxido de carbono.

**Aspectos de agricultura** analiza la importancia de la agricultura como actividad destinada a obtener alimentos para la humanidad. Se considera la naturaleza química del suelo y de algunos de los procesos que tienen lugar cuando las plantas crecen y mueren. A continuación, se estudia cómo pueden aplicarse nuestros conocimientos químicos sobre estos procesos para optimizar las cosechas y asegurar un buen suministro de alimentos. Finalmente se estudian los procedimientos químicos para el control de las plagas. En particular, se investiga el desarrollo de pesticidas que no persistan en el medio ambiente y se examinan las aplicaciones de algunos herbicidas.

**Química del acero** trata sobre los aspectos fundamentales de la producción del acero. Se estudia su composición y cómo se fabrica. A continuación se aborda uno de los problemas más importantes en la química del acero, su corrosión, y los diferentes métodos para su prevención. Un caso práctico lo constituye el estudio histórico de los problemas que generó la corrosión del hierro de las latas en la conservación de los alimentos enlatados, y de cómo fueron resueltos gracias a la química de los complejos metálicos. Por último, se discute la importancia del reciclaje del acero y los problemas que es preciso superar para conseguirlo.

**Los océanos** trata de la importancia que tienen los océanos en la regulación y distribución de la energía que nuestro planeta recibe del Sol, gracias a la evaporación del agua del mar, y en la regulación del dióxido de carbono presente en la atmósfera, al constituir un sumidero de este compuesto. Por otro lado, se estudia cómo las diferencias de temperatura del agua de los océanos originan corrientes marinas y corrientes de aire que afectan sensiblemente el clima de la Tierra.

### 3. LA QUÍMICA DEL COLOR

Mirando a nuestro entorno, observamos compuestos coloreados por todas partes. Gracias a la Química moderna se ha podido dar un color estable a materiales de propiedades muy diferentes y para usos bien dispares. Esta unidad aborda la idea de

construir los conceptos sobre la naturaleza del color, a partir del estudio de los colores de las pinturas, de los tejidos, de las tintas de impresora y de las fotografías en color.

La unidad **Color por diseño** comprende un conjunto de lecturas que tratan de las sustancias que se utilizan para dar color, desde las más tradicionales hasta los colorantes y pigmentos actuales, que se fabrican controlando las características del color y adaptándolo a las necesidades del usuario.

Las sustancias que se utilizan para dar color pueden clasificarse químicamente en dos grandes grupos: los pigmentos y los colorantes. En las lecturas de esta unidad se hace un recorrido histórico acerca de la utilización de estos dos grandes grupos de sustancias y cada sección de la unidad se dota de contenido químico añadiendo los conceptos químicos que todavía no se han desarrollado en otras unidades anteriores del proyecto Salters. Las actividades prácticas que se proponen son muy variadas, desde las preparaciones de mezclas y las pruebas de tubo de ensayo, propias de una clase de Química, hasta algunas síntesis y algunos análisis orgánicos que deben considerarse materiales de ampliación del programa preceptivo de bachillerato. También se cita el uso de aparatos de los que sólo suelen disponer los laboratorios de investigación. En este caso, se limita a describir brevemente cómo funcionan y a mostrar cómo se trabaja la comparación de resultados.

Tenemos noticia de la presencia de pigmentos en la vida cotidiana desde las huellas que nos han dejado los primeros grupos humanos. Por ejemplo, ya algunas tribus de Neandertal, que vivían en Europa, recubrían los cuerpos de los muertos con ocre rojo, óxido de hierro (III). Durante miles de años, los humanos preparaban sus colores a partir de los minerales que encontraban en las rocas. Otros testigos del uso de los pigmentos minerales son los colores de las cerámicas, de las pinturas y de los maquillajes.

Cuando las pieles de abrigo se transformaron en tejidos y ropa de vestir, los pigmentos, que hasta ese momento se habían utilizado para ornamentar el cuerpo humano, resultaron ineficaces para dar un color estable a los tejidos. El pigmento formaba una pasta, se secaba y endurecía el tejido, que muchas veces no conservaba la intensidad del color. Fue entonces cuando nacieron otro tipo de sustancias y otra técnica de aplicación del color: los colorantes y las tinturas.

Los primeros colorantes se obtenían de productos vegetales como bayas, flores, raíces y hojas; otros tintes provenían de animales como el rojo de la cochinilla o la púrpura del molusco murex. Las explotaciones de grandes extensiones de plantas tintoreras impulsaron la economía de varios países hasta el descubrimiento de los colorantes sintéticos que se inicia con el malva de Perkin a mediados del siglo XIX.

El estudio de los conceptos químicos relacionados con esta unidad puede llevarse a cabo siguiendo distintos niveles de profundización. Si bien es cierto que algunos conceptos de reactividad orgánica o de técnicas de análisis se alejan del nivel obligatorio en la Química de bachillerato, su presentación puede adaptarse al nivel de comprensión de los alumnos, sin que pierda interés o calidad.

La diferenciación entre pigmento y colorante nos sitúa ante el complejo mundo del comportamiento físico y químico de las sustancias. El estudio de los pigmentos y los colorantes nos permite tratar conceptos como solubilidad, tipos de mezclas, enlaces intermoleculares, dipolos, compuestos orgánicos, compuestos inorgánicos, sustancias naturales y de síntesis, y reacciones de precipitación.

El estudio del origen y la naturaleza del color es una buena manera de comprender los fenómenos de interacción de la luz con los átomos y moléculas que forman las sustancias. Podemos trabajar las ideas sobre el color de los compuestos como resultado de la interacción de ellos con la luz, de la misma manera que observamos los colores del cielo como el resultado de la acción de la luz solar que incide en la atmósfera y viaja a través de sus componentes hasta nosotros. El análisis de los pigmentos y colorantes es el marco idóneo para construir los conceptos químicos sobre el color como resultado de una interacción concreta entre los átomos, las moléculas y la luz, y las ideas científicas sobre absorción, fluorescencia y fosforescencia.

La identificación de sustancias coloreadas se realiza mediante técnicas modernas, la mayor parte basadas en la espectroscopía y la cromatografía. Es una buena forma de introducir los fundamentos y aplicaciones de la espectroscopía IR, UV y visible, análisis microespectral por láser, fluorescencia de rayos X, así como la cromatografía de capa fina y la cromatografía de gases.

Creemos que el estudio del color, los colorantes y las tinturas, son temas importantes que deben ser tratados en el bachillerato. No habría que dejar para los estudios universitarios un tema tan próximo a la vida cotidiana de nuestros alumnos, ya que cualquier ciudadano con estudios generales debería ser capaz de interpretar fenómenos relacionados con los colores de su entorno (9).

#### 4. LA QUÍMICA DE LAS MEDICINAS

En un momento en que las ciencias químicas corren el peligro de asociarse con actitudes negativas de nuestra sociedad, ser capaces de reforzar su conocimiento desde lo cotidiano es prioritario. Es importante aprender a observar nuestro entorno desde la perspectiva del estudio de la materia y los cambios químicos, tanto más si tenemos en cuenta el importante papel que la Química ha jugado, juega y jugará dentro de la mejora de la expectativa de vida de nuestra sociedad.

La unidad **Química de las medicinas**, que engloba las unidades “¿Qué es un medicamento?” y “Medicamentos de diseño” del proyecto inglés original, presenta la Química desde la perspectiva de la utilidad de la ciencia. En esta unidad se profundiza en aspectos importantes de la Química Orgánica, en diversas técnicas de análisis químico, en la estructura de la materia y su relación con la reactividad química, y en las interacciones de los medicamentos con las estructuras biológicas de nuestro cuerpo.

La sección **¿Qué es una medicina?** trata el tema de la industria farmacéutica, presentando las necesidades y dificultades de una industria que se ocupa de nuestra salud. Se muestran los factores que intervienen en la producción de un medicamento de gran alcance, como la aspirina, tales como el diseño, el proceso de mejora, el ensayo de seguridad, la producción y el coste del conjunto del proceso. Se muestran técnicas analíticas como la espectroscopía de masas, la espectroscopía infrarroja y la espectroscopía de resonancia magnética nuclear, necesarias para identificar compuestos farmacológicos. Se estudian también las funciones orgánicas y las reacciones químicas que nos permiten construir moléculas y compuestos activos esenciales para nuestro bienestar.

La sección **Medicinas de diseño** se centra en el mundo de la investigación de medicamentos más eficientes y más selectivos. Se estudian, inicialmente, las vías por las cuales un compuesto interacciona con su “blanco”, ya sea éste un componente del propio cuerpo o un organismo invasor (como una bacteria), mostrando así la conexión entre las ciencias de la vida y la Química. A partir del conocimiento de nuestra fisiología, de las reacciones que intervienen en los cambios fisiológicos y de las sustancias que pueden afectarlos, se propone el diseño de nuevas sustancias que actúen de forma más selectiva y eficaz sobre los receptores, dando lugar a los efectos deseados.

El concepto de reconocimiento molecular permite explicar la importancia de la estructura molecular espacial de un medicamento y nos ayuda a conectar la enseñanza de la Química con el de la Biología en el bachillerato. La incursión de la Química dentro del campo de la informática viene dada por la necesidad de diseñar programas que ayuden a imaginar nuevas moléculas activas. A su lado, la síntesis orgánica tiene un papel muy importante en la obtención de nuevos compuestos que mejoran los ya existentes. En esta unidad, al lado de experiencias clásicas de síntesis y análisis, se proponen otras actividades más novedosas, bien experiencias de laboratorio, bien actividades que implican el uso de las nuevas tecnologías.

Esta unidad proporciona una visión básica sobre el mundo de la Medicina a los alumnos que enfoquen sus intereses hacia las Ciencias de la salud. Dentro del ámbito propio de la Química, nos presenta la Química Orgánica como una parte de esta ciencia con entidad propia, presente diariamente en nuestras vidas, ayudándonos a mejorar nuestra calidad de vida. Por último, refuerza la comprensión de conceptos de Química general que van desde el enlace hasta la reactividad y el análisis químico.

## **5. EXPERIMENTACIÓN Y USO DE LAS UNIDADES DE LA QUÍMICA SALTERS**

Las unidades del proyecto Química Salters fueron experimentadas en Cataluña, Comunidad de Madrid y Valencia en más de 30 centros de enseñanza secundaria durante los cursos 96-97, 97-98 y 98-99. Los profesores experimentadores del proyecto manifestaron, en las reuniones de coordinación, un gran entusiasmo por

el carácter innovador de los materiales y, en particular, de las lecturas y de las actividades, aunque mostraron su preocupación por la falta de tiempo para poder cubrir de manera adecuada los contenidos conceptuales y la resolución de problemas en que se basa la prueba de Química de acceso a la Universidad. (10, 11).

Esta situación se ha agravado posteriormente con los nuevos cambios que han tenido lugar en la estructura del bachillerato (incremento de las horas dedicadas a humanidades y disminución de materias optativas) y en el currículo de Química en particular (eliminación del bloque de contenidos C.T.S. en el decreto de mínimos) (12).

Las nuevas unidades de Color por diseño y Química de las medicinas han sido experimentadas parcialmente en algunos centros de enseñanza secundaria de Cataluña y presentadas en cursos de formación durante las dos últimas Escuelas de Verano de Enseñanza Secundaria, organizadas por el Colegio de Doctores y Licenciados (julio de 2001 y julio de 2002).

En la actualidad, las unidades de la Química Salters en Cataluña se están utilizando fundamentalmente como una fuente de recursos para introducir aspectos C.T.S. y de la vida cotidiana en el currículo de Química, como una fuente de trabajos prácticos contextualizados y como material de partida en el que basar trabajos de investigación sobre Química en el bachillerato; sin olvidar su uso como material de soporte para la enseñanza de la materia optativa de Química Moderna, de carácter C.T.S..

Sin embargo, queda pendiente una revisión con detenimiento de los materiales que constituyen la edición experimental de la Química Salters para que puedan constituir en un futuro próximo una alternativa a los cursos tradicionales de Química, y ser un referente viable para acometer una enseñanza de esta Ciencia centrada en sus aplicaciones en la vida cotidiana (13).

## REFERENCIAS

1. Grupo Salters, *Cuadernos de Pedagogía*, **1999**, nº. 281, 68-72.
2. W.G. Burton, J.S. Holman, G.M. Pilling, D.J. Waddington, *Advanced Chemistry Salters: Chemical Storylines, chemical ideas, activities and assessment pack: Teacher's guide*, Heinemann, Oxford (1994).
3. Grupo Salters, *Química Salters. Bachillerato: Materiales didácticos*, Generalitat Valenciana, Consellería de Cultura i Educació (2000).
4. Grupo Salters, *Química Salters. Bachillerato*, Centro de Investigación y Documentación Educativas (C.I.D.E.), Madrid (2000).
5. Grup Salters, *Química Salters. Batxillerat. Materials de treball: 8 Unitats. Guia didáctica. Visita a una indústria química. El treball de recerca*, Generalitat de Catalunya, Departament d'Ensenyament, Barcelona (1999).

6. A. Caamaño, M.A. Gómez-Crespo, M.S. Gutiérrez, R. Llopis, M.J. Martín-Díaz, *Proyecto Salters: un enfoque C.T.S. para la Química del bachillerato*, en P. Membiela (Ed.), *Enseñanza de las Ciencias desde la perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad*, Narcea, Madrid (2001).
7. Grup Salters, *Química Salters. Batxillerat. Materials de treball. Color per disseny*, Generalitat de Catalunya, Departament d'Ensenyament, Barcelona (2003).
8. Grup Salters, *Química Salters. Batxillerat. Materials de treball: La Química dels medicaments*, Generalitat de Catalunya, Departament d'Ensenyament, Barcelona (2003).
9. M.T. Puigvert, J. Corominas, A. Llaveria, A. Caamaño, *La Química del color i de les medicines: l'aproximació Salters a la Química del batxillerat*, Actes del VI Simposi sobre l'Ensenyament de les Ciències de la Natura, pp.500-502, Balaguer (2002).
10. M.A. Gómez Crespo, M.S. Gutiérrez, M.J. Martín Díaz, A. Caamaño, *Un enfoque ciencia-tecnología-sociedad para la química del bachillerato. El proyecto Salters*, en I.P. Martins (ed.), *O Movimento CTS na Península Ibérica*, Universidade de Aveiro (2000).
11. M.T. Puigvert, *Revista del Col.legi*, **2000**, nº. 111, 55.
12. A. Caamaño (coord.), *Alambique*, 2003, Vol. 36.
13. A. Caamaño, *Alambique*, **2001**, Vol. 29, 43-52.



## DÉJATE SORPRENDER POR LA QUÍMICA EN TU VIDA COTIDIANA

*Fernando Mijangos Ugarte*<sup>1</sup>, *Gorka Zabala López de Maturana*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Química Física, Facultad de Ciencias, Universidad del País Vasco  
UPV/EHU, Apartado 644, 48080-Bilbao. qfpmiugf@lg.ehu.es

<sup>2</sup>Departamento de Didáctica de la Matemática y de las Ciencias  
Experimentales, Universidad del País Vasco UPV/EHU

*El objeto de la presente comunicación es exponer la experiencia, en el ámbito universitario, que un grupo de profesores de Química hemos desarrollado durante los cursos de verano organizados por la Universidad Vasca de Verano, Udako Euskal Unibertsitatea, UEU, durante sus últimas seis ediciones celebradas en Pamplona, Iruñea; concretamente en las ediciones 25 a 30, que corresponden a los últimos años (1997-2002). El objetivo principal era examinar los compuestos químicos y la Química que utilizamos a lo largo del día, casi sin darnos cuenta, pero es tan amplio el tema del estudio que nos faltaron horas la primera vez, y ya llevamos seis años seguidos intentándolo.*

### 1. INTRODUCCIÓN

Bien es cierto que la actividad cotidiana no nos deja en muchas ocasiones ni tiempo libre para pensar, ya que tenemos suficiente trabajo con tener que responder a nuestras obligaciones y, a menudo, tenemos que dejar tareas para el día siguiente ya que las 24 horas de un día no son suficientes para cumplimentarlas. Eso mismo nos ocurrió a los químicos y químicas que nos reunimos en Iruñea en los cursos de verano.

Antes de ofertar este tema en los cursos de verano, un grupo de profesores de Química de distintos Departamentos (analítica, orgánica, inorgánica, química física y didáctica de las ciencias) y Facultades (Ciencias, Farmacia, Magisterio y Química) nos reunimos en seminario permanente para hablar del tema. Nos planteamos preguntas del tipo: ¿Cuántos compuestos químicos distintos utilizamos a lo largo del día?, y ¿cómo dividir y describir sus características químico-físicas de una forma fácil?. A la hora de dar respuesta a éstas y parecidas cuestiones, la metodología que aplicamos fue fácil: ¿Por qué no describimos de una manera química un día cotidiano? Y, más concretamente: desde que nos levantamos de la cama hasta volver a ella ¿hemos utilizado compuestos químicos o Química?.

Si al principio el recuento de los materiales químicos fue saliendo de una manera pausada, cuando cogimos el tranquillo salieron tantos compuestos químicos que nos ha hecho viable poder seguir ofreciendo este tema durante seis años seguidos, y no parece que tenga cerca el final.

## 2. INVENTARIO

Cuando estamos en la cama, y al vestimos, estamos rodeados de ropa, es decir de tejidos hechos ya sea con fibras naturales como algodón, lana, seda, etc., ya sea con fibras sintéticas, como pueden ser las poliamidas, poliacrinonitrilos, poliésteres sintéticos, etc. A la hora de estudiar estas fibras, hay que tener en cuenta que son macromoléculas y que éstas se consiguen mediante polimerizaciones. Gracias a estas polimerizaciones utilizamos también poliestireno, poli(etilén tereftalato) o incluso celulosa (papel). A este grupo de materiales, denominados macromoléculas o polímeros, pertenecen los termoplásticos, los elastómeros y los termoestables.

Al levantarnos de la cama seguramente iremos a asearnos, utilizando para ello: agua, jabones, geles, pasta de dientes, champús, etc.; es decir, sales sódicas de ácidos grasos. Después, utilizaremos cosméticos para “maquillarnos”, colonias (aceites esenciales disueltos en alcohol), ceras especiales para pintar los labios, colorantes para colorear el pelo,... Resumiendo, se trata del grupo de detergentes y cosméticos.

Al mencionar que la siguiente actividad sería seguramente el desayuno todos comprendimos que nos venía encima. Ni más ni menos, la Química de la alimentación, ya que cualquier alimento está compuesto por glúcidos, lípidos y prótidos (hidratos de carbono, ácidos grasos y proteínas respectivamente). Los alimentos nos dan energía y material de construcción de nuestros organismos y tejidos en el proceso llamado metabolismo. Mantener los alimentos en unas condiciones adecuadas pide la ayuda de técnicas de conservación para que puedan durar largo tiempo, y ello se puede conseguir gracias a los aditivos que se añaden, que no son más que compuestos químicos para retardar procesos de fermentación.

Pero eso no es todo, ya que en la cocina habremos calentado nuestro desayuno quizás con la ayuda del butano, o del gas ciudad, o quizás con una placa eléctrica (vitrocerámica) o en el microondas. Es decir, aparece el grupo de tipos de energía, cómo conseguirla, cuál utilizar,... Sobre este tema, nos dimos cuenta que tenía más implicaciones además de la cocina.

También en la cocina, seguro que se han utilizado vasos de vidrio, polímero inorgánico de la sílice (arena de playa), cucharas y tenedores metálicos, ollas a presión, o sartenes protegidas por teflón para que no se adhieran los huevos fritos. Un nuevo grupo de compuestos químicos se abre, estudiándolo como la Química de los materiales, donde se incluye también el cemento, yeso, pinturas, adhesivos, etc.

Tras desayunar, seguramente estaremos de acuerdo en que salimos a la calle para acudir a nuestro trabajo u obligaciones. En esos momentos en que respiramos aire fresco se nos viene a la cabeza el oxígeno atmosférico, el color rojizo pardo que está por encima de nuestras cabezas debido al *smog* fotoquímico, o podemos pensar si el agujero de ozono estará sobre nuestras cabezas y la radiación ultravioleta que no es filtrada nos producirá alguna ligera quemadura. Hablando del aire, oxígeno y dióxido de carbono, se nos pone un poco la carne de gallina al pensar en el efecto invernadero y en el calentamiento global medio del planeta.

Al mencionar la Química de la atmósfera y su contaminación, nos miramos de reojo al pensar nuevamente en el agua, depuración de aguas residuales, demanda biológica de oxígeno, etc. El agua, la molécula más corriente, es también una de las más especiales. Y si ya hemos intuido el estado gaseoso y el estado líquido, ¿ocurrirá lo mismo en el estado sólido?. Es decir, ¿qué ocurre con los plásticos que no son degradables aunque sean reciclables, o con todos los pesticidas, plaguicidas, abonos nitrogenados que estamos echando a la tierra continuamente?.

Estando haciendo el recuento de la Química y de los compuestos químicos que utilizamos en nuestra vida cotidiana de una manera muchas veces inconsciente, decidimos hacer un pequeño descanso, momento en el que un colega aprovechó para preguntar si alguno de nosotros/as tenía una aspirina. Rápidamente aprovecharon la ocasión los químicos orgánicos para decir que la aspirina es ácido acetil salicílico, y que todos los fármacos que tomamos como antibióticos, analgésicos, estimulantes, drogas (el alcohol etílico, el hachís o tetrahidrocannabinol, etc.) no son más que compuestos químicos orgánicos.

Ni que decir tiene que la Química Orgánica, con todos sus grupos funcionales, sus isómeros y su multitud de compuestos, es un grupo tan amplio que podríamos estar años y años sólo con ellos. Pero de repente, oímos la señal que da un reloj electrónico al cambiar de hora; más de uno pensamos cuántos relojes, radios, calculadoras, etc., se pararían si no utilizáramos la energía eléctrica que suministra una reacción redox. Las pilas alcalinas, de botón, las baterías, y la fotosíntesis de las plantas verdes son procesos redox; reacciones químicas que pueden suministrar un flujo de electrones y hacer mover las máquinas. ¡Y claro que las utilizamos de una manera cotidiana y casi de manera inconsciente!.

No podemos comparar la cantidad de energía eléctrica obtenida mediante las pilas y baterías con la energía conseguida gracias a la combustión de combustibles fósiles (derivados del petróleo, gas natural o carbón), madera o, incluso, energía nuclear. Aparte de la conseguida así, también se puede obtener energía por fuentes renovables, como mediante el efecto fotoeléctrico, aerogeneradores (que tanta importancia tienen en Navarra), o incluso por aprovechamiento del material orgánico de las aguas residuales y su fermentación anaeróbica para producir metano. Por tanto, el grupo de compuestos químicos y fuentes de energía esta presente en nuestro recuento.

Este tipo de inventario de materiales se suele realizar escribiendo con un trozo de grafito (lápiz) que deja una marca sobre el papel (celulosa), o tecleando sobre unas piezas de plástico que al ser pulsadas abren y cierran una serie de circuitos que funcionan gracias a la propiedad semiconductor que tienen el silicio y los actuales *chips* electrónicos. La escritura, el bolígrafo, la tinta, los ordenadores, y la impresión en papel no serían posible si no existieran o utilizáramos compuestos químicos para ello.

Después de un largo día de trabajo y estudio, solemos hacer un rato de deporte para tonificar nuestro cuerpo y poder descansar. Por ejemplo, nos vestimos una ropa y

calzado adecuado para ir a correr, con tejidos que dejan transpirar pero que no dejan que el agua penetre, como el *Goretex* (politetrafluoroetileno), vamos a la piscina con los trajes de baño de licra, se anda en bicicleta con aleaciones cada vez más ligeras, se utilizan piraguas hechas de *composites* reforzados, y se juega al ping pong con sus pelotas de nitrocelulosa. En fin, que hasta en el deporte que hacemos podemos ver compuestos químicos que nos facilitan la tarea.

Tras caer en la cama agotados, decidimos, con nuestros últimos pensamientos racionales, poner el despertador para el día siguiente, quitarnos nuestros anillos y collares de oro, plata y similares (metales nobles) y apagar la luz. Pensamos así en las bombillas de wolframio o las fluorescentes, los láseres, los fuegos artificiales, las luciérnagas, las cerillas o las velas; es decir, la Química de la luz.

### 3. EL CURSO

El curso, o mejor dicho los cursos, han tenido desde el comienzo la finalidad de divulgar la Química cotidiana entre un alumnado que estuviera un poco familiarizado con el lenguaje químico, con objeto de que no se asustaran con los nombres de los compuestos químicos. Estos cursos se han podido utilizar como créditos de libre elección en los estudios universitarios de muchas licenciaturas y, así, cabe decir que entre el público que ha acudido figuran profesionales de la Química, alumnos de Filosofía, de la especialidad de música en Magisterio y estudiantes de carreras técnicas.

La duración del curso ha sido intensiva durante una semana, tanto por la mañana (en dos sesiones de 9,30 a 11,00 y de 11,30 a 13,00) como por la tarde (16,00 a 18,00).

La asistencia a estos cursos se planificó con un número mínimo de cinco alumnos y uno máximo de veinte, habiendo sido la asistencia media de nueve alumnos por curso. Cabe destacar que han sido cursos ofrecidos íntegramente en euskara y en la segunda quincena de julio.

Estos cursos han estado acompañados de toda una serie de actividades complementarias, bien en el laboratorio, con la realización de una serie de prácticas, bien mediante salidas para visitar la industria química en la zona de Pamplona y Navarra. Quisiéramos agradecer la cordial acogida que nos han dedicado en nuestras visitas y todas las atenciones prestadas.

Los temas abordados en los sucesivos cursos se resumen en los siguientes epígrafes.

#### **Año 1997. “Química cotidiana: compuestos químicos que utilizamos a lo largo del día”**

- Presentación del curso.
- Pilas.
- Ensayo práctico.

- Plásticos.
- Materiales.
- Exposición de materiales.
- La luz.
- Combustiones.
- Quimioluminiscencia: Luciérnagas.
- Contaminación.
- Principios activos en fármacos.
- Visita a una depuradora de aguas residuales.
- Alimentos.
- Pesticidas.

#### **Año 1998. “Química cotidiana (II)”**

- Fuentes energéticas y efecto invernadero.
- Energía eólica. Generadores eólicos.
- Visita a un parque eólico.
- Fibras sintéticas.
- Drogas de diseño.
- Análisis de pastillas.
- Tratamiento de aguas.
- Visita a una planta potabilizadora.
- Color y fotografía.
- Nuevos excipientes en los medicamentos.
- Perfumes y olores. Exposición.
- Visita a CINFA.
- Biodiésel: utilización de aceites en motores diesel.
- Alimentos y *snacks*.

#### **Año 1999. “La asombrosa química de las cosas corrientes”**

- Extracción de la cafeína y del limoneno. Ejercicio práctico.
- Visita a una industria cosmética en Cintruénigo. Perfume “Navarra: ir es volver”.
- Alcohol etílico y vino.
- Cata de vinos y olores.
- Ni Dios ni Darwin. ¿Espacio y tiempo, o sólo tiempo?
- Gestión y tratamiento de residuos plásticos.
- Alcoholímetros. Reacciones redox. Práctica de laboratorio.
- Internet y Química.
- Compresas que dan frío o calor. Práctica de laboratorio.
- Hierbas medicinales. Salida a un parque botánico.
- Obtención de hidrocarburos a partir de desechos.

- Biodiéseles. Aceites de fritanga. Práctica de laboratorio.

#### **Año 2000. “La Química de los objetos que tenemos entre manos”**

- Química combinatoria. Descubrimiento de nuevos compuestos.
- Macromoléculas de última generación.
- Cerveza y alcohol.
- Olores y perfumes. Desde la literatura a la Química.
- Olores y perfumes. Salida a Azketa.
- Aceros y composición.
- Visita a Aceralia.
- Vidrio. Vidrieras.
- Química de la industria del automóvil (Mercedes Benz)
- Obtención de un nuevo colorante orgánico. Práctica de laboratorio.
- Muerte de un montañero. Atropa Belladona.
- Análisis de las drogas que se usan en deporte.

#### **Año 2001. Paseo químico por la industria Navarra**

- Energía, efecto invernadero.
- Visita a un parque eólico.
- Tratamiento de las aleaciones metálicas.
- Visita a Transformados de Lesaca.
- Marihuana: métodos químicos para detectar los principios activos.
- Química orgánico-farmacéutica.
- Visita a la empresa farmacéutica CINFA.
- Plásticos comestibles.
- Visita a la empresa Viscofán.

#### **Año 2002. “Química cotidiana”**

- Utilización de catalizadores en la vida cotidiana.
- Preparación de un catalizador. Ejercicio práctico.
- Polímeros para jugar.
- Hazte tu *blandiblup*. Práctica de laboratorio.
- Gestión de los residuos neumáticos.
- Extracción del aceite esencial de la naranja.
- Materiales poliméricos contra el fuego.
- Combustibles alternativos en la automoción.
- ¿Ordenadores y Química?.
- Del laboratorio a la Industria.

# EXPERIENCIAS DE LA VIDA DIARIA EN LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA

*Gabriel Pinto Cañón*

Departamento de Ingeniería Química Industrial y del Medio Ambiente  
E.T.S. de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid  
José Gutiérrez Abascal 2, 28006-Madrid. gpinto@iqi.etsii.upm.es

*En este trabajo se incide en la necesidad de complementar la enseñanza de la Química con ejemplos y ejercicios extraídos de la vida cotidiana, con objeto de favorecer la motivación de los alumnos para el aprendizaje de esta Ciencia. Además, de esa manera se contribuye a la divulgación de la Química y se fomenta su papel en la Educación. Se ofrece una selección de referencias bibliográficas y direcciones de Internet donde se abordan estos temas con multitud de ejemplos y matices.*

## 1. INTRODUCCIÓN

El afán por intentar imbricar aspectos de la vida cotidiana, bien conocidos por los alumnos, y los conocimientos aprendidos en el aula, no es, ciertamente, una cuestión novedosa ni exclusiva de la Química. Así, Petronio, hace ya cerca de dos mil años, sugería en su obra *El Satiricón*, que “*la razón por la que los jóvenes salen tan ignorantes de las escuelas es porque no han tendido contacto con nada de alguna utilidad en la vida diaria*” (1).

Una de las técnicas metodológicas más recomendadas en la actualidad, en los distintos niveles educativos, para los docentes que imparten asignaturas de Química, con objeto de motivar a los alumnos en el aprendizaje y mantener su interés, es la utilización de ejemplos de la vida diaria. De esta manera, además, se ilustra la importancia de esta Ciencia en el mundo contemporáneo (2-5).

## 2. DIDÁCTICA DE LA QUÍMICA Y HECHOS DE LA VIDA DIARIA

Existen diversos métodos para introducir ese tipo de ejemplos, como son el análisis de noticias aparecidas en los medios de comunicación (6-8), la elaboración de trabajos breves sobre productos químicos de interés (9), o la búsqueda por los alumnos de cuestiones próximas a ellos relacionadas con la Química (10). Acerca de estos métodos y de otras técnicas complementarias, Jones y Miller (11) ofrecieron recientemente una amplia bibliografía.

Si bien prácticamente todos los libros de Química modernos, especialmente en enseñanza secundaria y primeros cursos universitarios, incluyen secciones del tipo “*Química en acción*” (12, 13), “*Mural de las Ciencia*” (14), “*Atención a...*” (15), “*Aplicaciones de la Química*” (16), y “*Disgresión química*” (17),..., con objeto de

hacer más atractiva la materia y favorecer su aprendizaje, la mayoría de los alumnos no suele prestarles atención (11), por lo que sería conveniente que los docentes les animaran a ello.

Obviamente, la didáctica de la Química entraña dificultades semejantes en los diversos sistemas educativos. Así, en el entorno británico, Cole y col. (18) señalan que no es frecuente en la práctica docente de Química la relación entre los conocimientos y cuestiones de la vida diaria, próximas y bien conocidas por los alumnos.

La sección de Educación de la Sociedad Americana de Química expuso hace unos años que *"la comprensión de la Química por parte de la ciudadanía es pobre, al percibir en gran medida que los productos químicos contaminan el medio ambiente y sin apreciar las implicaciones de esta Ciencia en la vida diaria"* (19). Esta situación es debida, a juicio de Cole (20), al menos parcialmente, a que algunos científicos no explican bien sus trabajos en términos que puedan ser entendidos por el público general, y a que algunos educadores no pueden ver nada más allá del examen de final de curso.

No sólo los alumnos, sino cualquier ciudadano actual, debería estudiar y conocer algo de Química, dado que esta Ciencia es necesaria, entre otras cuestiones, para comprender multitud de aspectos a los que se alude de forma continua en los medios de comunicación. Holman (21) señala, entre los motivos más importantes para justificar esta necesidad de formación química para el ciudadano medio, los siguientes: utilitario (es útil para la vida diaria); económico (un país necesita científicos, doctores e ingenieros); democrático (todo el mundo necesita algo de Ciencia para participar en debates sobre política pública); y cultural (la Ciencia es parte de la cultura moderna).

En este sentido, Cole informa (20) que remitió una carta al Ministro de Educación de Australia Occidental en la que, entre otras cuestiones, señalaba que *"los jóvenes tienen importantes deficiencias culturales si, después de doce años de escolarización, la mayoría ignora profundamente las propiedades químicas de las sustancias que ven y usan en su vida diaria"*. Puntualizaba así un informe del Ministro, donde se indicaba que los jóvenes presentaban importantes carencias culturales si, después de doce años de escolarización, no tenían conocimientos básicos de historia, arte, fundamentos filosóficos de su propia sociedad,... y, de forma especial, no tenían habilidad para la comprensión oral y escrita y en operaciones matemáticas.

Además de lo señalado, se constata que amplios sectores de la sociedad (y por tanto de los alumnos) perciben el avance científico con un cierto escepticismo, pensando, incluso, que los científicos (y dentro de ellos los químicos) están alejados de la vida diaria. Para ilustrar esta situación, en la Figura 1 se muestran las imágenes de dos químicos aparecidas en anuncios publicitarios de los últimos años. Al respecto, en una reciente entrevista al Dr. Avelino Corma, director del Instituto de Tecnología Química de Valencia, señalaba que *"inconscientemente e indirectamente se pasa el mensaje a la población de que la Química sólo está relacionada con los grandes procesos químicos, a los que muchas veces se asocia una imagen de contaminantes. (...). La*

*Química no es la responsable de la degradación medioambiental, sino el mal uso que a veces se hace de ella por intereses económicos. La Química ha permitido mejorar nuestras condiciones de vida, erradicar enfermedades, mejorar nuestra agricultura y eliminar residuos” (22).*



Figura 1. *Imágenes de químicos, aparecidas en anuncios publicitarios de los últimos años, donde se incluían los textos: “¿Sabe cuál es la fórmula para conseguir gasolina gratis?” (izquierda) e “Invéntate tu propia fórmula y personaliza la página de inicio de tu ordenador” (derecha).*

### 3. QUÍMICA DIVULGATIVA

Todo lo expuesto anteriormente plantea un reto para el profesorado de Química: relacionar la Química explicada en el aula con cuestiones de la vida diaria, para favorecer la motivación de los alumnos en su aprendizaje. Se trata de una doble vertiente. Por una parte, cómo los conceptos y métodos de esta Ciencia sirven para explicar los fenómenos habituales y, por otra, cómo se pueden utilizar cuestiones cotidianas para facilitar la comprensión de conceptos químicos de cierta dificultad, esto es, desarrollando analogías.

El reto que se plantea a los docentes no se circunscribe sólo a lo que se conoce como Química recreativa, mágica o divertida, sino que es una cuestión más amplia. Sin embargo, sí se valoran estas ramas de la Química, altamente interesantes por su aspecto divulgativo, con abundante bibliografía al respecto en la actualidad, como los textos de Roesky y Möckel (23) y de Ford (24), pero también con libros ya centenarios, como el de Tissandier (25), en el que explica una Física sin aparatos y una Química sin laboratorio, con cerca de 800 grabados. Cabe citar también, en este

sentido, el texto de Vitoria (26). En esta línea de Química recreativa o divulgativa, hay profesores universitarios, como Bassam Z. Shakhashiri (27), que dedican grandes esfuerzos a la cuestión, e incluso hay empresas de ocio educativo para colegios, ayuntamientos o centros comerciales (28). Además, se difunden cuestiones de este tipo en los Museos de Ciencia (29-31). Todas estas acciones son positivas, porque provocan (o al menos lo intentan) una reacción favorable hacia el mundo de la Química entre la ciudadanía y, de forma especial, entre niños y jóvenes.

Hace ya cerca de diez años, diversos Centros y Museos Científicos de Europa elaboraron un proyecto conjunto para divulgar de un modo accesible entre el público general (especialmente entre los jóvenes), una mejor comprensión de la Química en la vida cotidiana (32,33). El proyecto se centraba en ocho temas globales para estimular el interés hacia esta Ciencia y mostrar que no es tan abstracta y difícil de comprender como a veces parece, sino que aporta conocimientos esenciales para la vida diaria. Los temas y contenidos se resumen en la tabla 1. Se han llevado a cabo, dentro de este proyecto, toda una serie de iniciativas donde se plantea que la Química es el centro de la aventura científica e industrial del siglo XXI.

Como tantas veces en Pedagogía, no se pretende con este tipo de razonamientos llevar la cuestión a situaciones extremas: ni sería bueno dedicar un tiempo excesivo en el aula a comentar experiencias cotidianas, ni tampoco prescindir totalmente de ellas.

Entre las direcciones de Internet donde se ofrece información de hechos de la vida cotidiana relacionados con la Química y donde, a su vez, se sugieren enlaces a otras de temática similar, se destacan la desarrollada por el Prof. Antonio Varela (34), la creada en la Universidad de Leeds, con el título de "*Delights of Chemistry*" (35), que contiene incluso vídeos, la desarrollada dentro del proyecto "*Chemistry for life*" (36), que reúne a varios Centros Científicos y Museos de Ciencia europeos, como se indicó anteriormente, en colaboración con el *European Chemical Industry Council*, y la preparada por la Federación Empresarial de la Industria Química Española (FEIQUE) (37).

#### 4. EJERCICIOS Y CUESTIONES

De los aspectos señalados en el presente artículo, los ejercicios y las cuestiones sobre Química y la vida diaria son el tipo de herramienta educativa del que existen más referencias bibliográficas (38-43). El Prof. Ronald DeLorenzo ha recopilado varios cientos de cuestiones cotidianas que son explicadas por la Química (44), desde el comportamiento del monstruo del lago Ness a cómo, a partir de citas bíblicas, se puede deducir que el cielo es más caluroso que el infierno. Así, aplicando la ley de Stefan-Boltzmann de la radiación para el cielo, donde "*la luz de la luna será como la luz del sol y la del sol será siete veces mayor que sería la luz reunida de siete días*" (Is. 30:26), se obtiene que la temperatura allí es de unos 520 °C, mientras que en

el infierno, que es "el lago que arde con fuego y azufre" (Ap. 21:8), se estaría a unos 120 °C (temperatura de fusión del azufre).

Tabla 1. *Temas seleccionados por diversos Museos de Ciencia e industrias químicas de Europa, para estimular el interés de los ciudadanos hacia la Química (32,33).*

<b>Tema global</b>	<b>Contenido</b>
¡Tú eres química!	Química del cuerpo humano.
¡... y también lo es el resto del universo!.	La Química es una Ciencia multidisciplinar que tiene que ver con todas las Ciencias que, de una u otra forma, versan sobre la materia: biología, farmacia, paleontología, astrofísica,...
La Química inventa nuevos materiales <i>a la carta</i> .	La Química permite preparar nuevos materiales con propiedades específicas.
No existen copias mejores o peores de las moléculas: ¡sólo existen ejemplares originales idénticos!.	Erróneamente, se suele considerar "químico" como adjetivo opuesto a "natural". Las moléculas son idénticas, independientemente de su origen.
No existen sustancias tóxicas: ¡sólo existen dosis tóxicas!.	Los químicos pueden detectar cantidades inimaginablemente pequeñas de muchos compuestos. Eso es tranquilizador, aunque gracias a ello se sabe que la contaminación ha alcanzado ya los lugares más remotos.
La Química provee soluciones a sus propios problemas.	La Química permite limpiar el entorno de sustancias contaminantes.
Beethoven, Dante, Velázquez,... ¡Lavoisier!.	Los grandes triunfos de la Química son totalmente comparables a los logros culturales más elevados de la humanidad.
Ni siquiera los químicos son perfectos.	Los químicos son responsables tanto de los beneficios como de los riesgos asociados a los productos que preparan.

Aparte de un buen número de artículos sobre estos temas, con los que un profesor puede preparar ejercicios y cuestiones, la revista *Journal of Chemical Education* tiene las secciones *Chemistry for everyone* e *Interdisciplinary connections*, donde se incluyen trabajos al respecto. Asimismo, la revista *Education in Chemistry* publica regularmente multitud de ejemplos a través de sus secciones *Chemlingo*, *Soundbite molecules* y *Chemistry trails*. El autor de esta última sección es el Prof. Peter Borrows (45), quien indica que "cuando abres los ojos, puedes ver Química en cualquier entorno", y analiza químicamente cuestiones de la playa, la piscina, el cemento, ladrillos, o los ladrillos, entre otras. El profesor Simon Cotton, autor de la

sección de *Soundbite molecules*, muestra, a lo largo de sus textos, la interpretación química de cuestiones tan variadas de la vida cotidiana como son: disolvente corrector de tinta, chocolate, oscurecimiento de las manzanas, tinta invisible, sedantes, *kevlar*, zeolitas, o la utilización de un gas por el ejército ruso para liberar a los secuestrados por terroristas chechenos en un teatro en el año 2002, entre otras. Algunos textos recomendados para que los docentes preparen ejercicios y cuestiones, en el sentido expuesto se recogen en otro trabajo (5).

## 5. EXPERIMENTOS

Hay un buen número de experiencias conocidas de Química que se realizan con objetos de la vida cotidiana, como se recoge en la bibliografía (23,24,46) o en direcciones de Internet (27,47). Algunos experimentos ya clásicos son la pila galvánica fabricada con un limón o con una patata, la tinta invisible, o el jardín químico, entre otros. En la revista *Journal of Chemical Education* hay secciones fijas, como las denominadas *Tested demonstrations* y *Classroom activity*, donde aparecen mensualmente este tipo de actividades. En la revista *Anales de la R.S.E.Q.* aparecen también artículos al respecto en la sección *Laboratorio de Química*.

Como ejemplos de este tipo de experimentos, se puede calcular con cierta facilidad, a partir de datos experimentales, la energía de activación del proceso de disolución de comprimidos efervescentes comerciales (48), o la del proceso de rehidratación osmótica de legumbres (49). En ambos casos, los alumnos encuentran cierta satisfacción en obtener resultados numéricos de interés químico en dos procesos tan familiares para ellos. Son además buenas oportunidades para que el profesor comente conceptos como efervescencia, composición de medicamentos, flujo osmótico, o transferencia de materia, entre otros. En la figura 2 se muestra la influencia de la temperatura en un experimento típico de hidratación de garbanzos sumergidos en agua, que el alumno puede realizar en casa. A partir de gráficas de ese tipo, los alumnos obtienen, por ejemplo, los valores de velocidades iniciales de hidratación a distintas temperaturas.

## REFERENCIAS

1. R. Felder, *Chem. Eng. Educ.*, **2002**, Vol. 36, 282-283.
2. J.A. Chamizo, *Educación Química*, **2001**, Vol. 12, 194-198.
3. M. Martín Sánchez y M.T. Martín Sánchez, *Anales de la Real Soc. Esp. Quím.*, **2000**, Vol. 96 (4), 40-44.
4. G. Pinto Cañón, *Ibíd.*, **2001**, Vol. 97 (4), 29-36.
5. G. Pinto Cañón, *Ibíd.*, **2003**, Vol. 99 (1), 44-52.
6. R.S. Myers, *J. Chem. Educ.*, **1991**, Vol. 68, 769-770.
7. S. Toby, *Ibíd.*, **1997**, Vol. 74, 1285-1287.

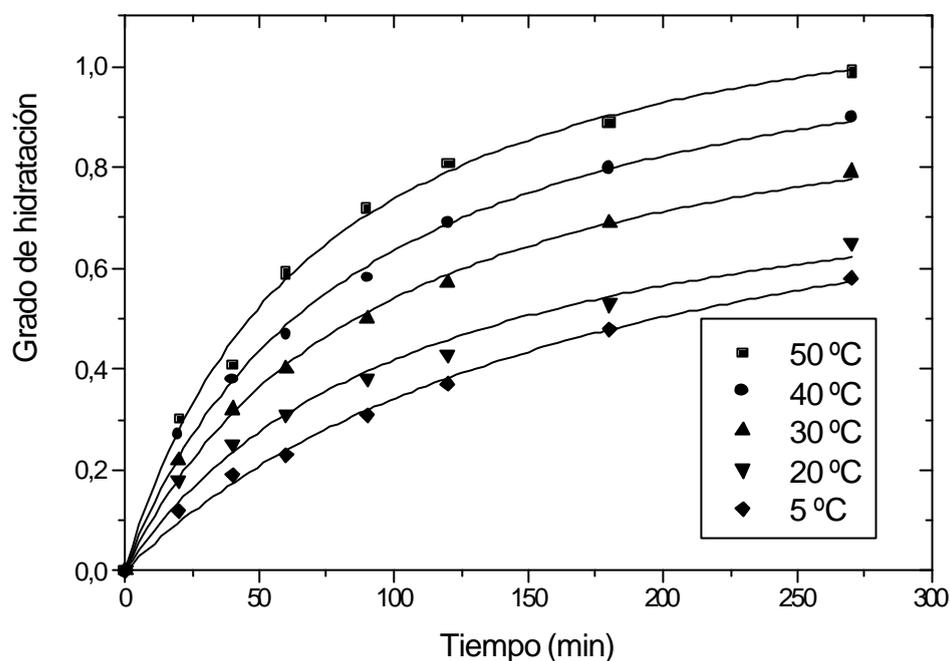


Figura 2. Influencia de la temperatura en la velocidad de hidratación de garbanzos sumergidos en agua. El grado de hidratación representa el cociente entre la masa de agua (en gramos) absorbida por los garbanzos y su masa inicial (en gramos).

8. G. Pinto, *Anuario Latinoam. Ed. Quím.*, **2003**, en prensa.
9. E.L.S. Bunyan, *J. Chem. Educ.*, **1986**, Vol. 63, 858.
10. A.M. Last, *Ibid.*, Vol. 76, **1999**, 1503-1504.
11. M.B. Jones and C.R. Miller, *Ibid.*, **2001**, Vol. 78, 484-487.
12. T.L. Brown, H.E. LeMay y B.E. Bursten, *Química, la Ciencia central*, Ed. Prentice Hall, México (1998).
13. R. Chang, *Química*, Ed. McGraw-Hill, México (1999).
14. J.I. del Barrio y M. Belmonte, *Química:Reacción*, Ediciones SM, Madrid, (1998).
15. R.H. Petrucci y W.S. Harwood, *Química general, principios y aplicaciones modernas*, Ed. Prentice Hall, Madrid (1999).
16. G. Rayner-Canham, *Química inorgánica descriptiva*, Ed. Prentice Hall, México (2000).
17. J.C. Bailar, T. Moeller, J. Kleinberg y M.E. Guss, *Química*, Ed. Vicens Vives, Barcelona (1983).
18. M. Cole, R. Janes, M. McLean and G. Nicholas, *Educ. Chem.*, **1998**, Vol. 35, 56.
19. American Chemical Society, *Tomorrow. The report of the task force for the study of Chemistry education in the United States*, Washington, D.C. (1984).

20. *Chemistry for the citizen* (por el Prof. A.R.H. Cole):  
<http://www.geochemresearch.com.au/chemistrycitizen.htm>
21. J. Holman, *Ed. Chem.*, **2001**, Vol. 38, 10-11.
22. J. López Rejas, *El Cultural (Diario El Mundo)*, **2002**, 26 de Diciembre, 56-57.
23. H.W. Roesky and K. Möckel, *Chemical curiosities: spectacular experiments and inspired quotes*, Ed. VCH, Weinheim (Alemania) (1996).
24. L.A. Ford, *Chemical magic*, Ed. Dover Publications, New York (1993).
25. G. Tissandier, *Las recreaciones científicas o la enseñanza por los juegos*, Ed. De Bailly-Bailliere, Madrid (1892).
26. E. Vitoria, *La ciencia química y la vida social. Conferencias de vulgarización científica*, Ed. Tipografía Católica Casals, Barcelona (1925).
27. *Science is fun* (por el Prof. Bassam Z. Shakhashiri):  
[http://scifun.chem.wisc.edu/BZS\\_bio/biosketch.html](http://scifun.chem.wisc.edu/BZS_bio/biosketch.html)
28. Empresa "La Ciencia es Divertida":  
<http://www.aliquindoy.com/extra/cd/index.htm>
29. Museo de la Ciencia de Barcelona:  
[http://www1.lacaixa.es:8090/webflc/wpr0pres.nsf/wurl/mcbchome\\_esp](http://www1.lacaixa.es:8090/webflc/wpr0pres.nsf/wurl/mcbchome_esp)
30. Parque de las Ciencias de Granada: <http://www.parqueciencias.com/>
31. Casa de las Ciencias de A Coruña: <http://www.casaciencias.org/>
32. Editorial Staff, *Educ. Chem.*, **1998**, Vol. 35, 33.
23. J. Wagensberg, *Diario El País*, **1995**, 6 de Septiembre.
34. Ciencianet (por el Prof. Antonio Varela): <http://ciencianet.com>
35. *Delights of Chemistry* (por el Departamento de Química de la Univ. de Leeds):  
<http://www.chem.leeds.ac.uk/delights/>
36. *Chemistry for life* (por C.E.F.I.C.): <http://www.chemforlife.org>
37. Federación Empresarial de la Industria Química Española: <http://www.feique.org>
38. A. Ibañez, *La base de la Química*, Ed. Penthalon, Madrid (1986).
39. A. NewMark, *Colección visual Altea : Química*, Ed. Santillana, Madrid (1993).
40. C. Cooper, *Colección visual Altea : Materia*, Ed. Santillana, Madrid (1993).
41. C.H. Snyder, *The extraordinary chemistry of ordinary things*, Ed. John Wiley, New York (1995).
42. F. Vinagre, M.R. Mulero y J.F. Guerra, *Cuestiones curiosas de Química*, Ed. Alianza, Madrid (1996).
43. A. Frova, *Por qué sucede lo que sucede*, Ed. Alianza, Madrid (1999).
44. Ensayos del Prof. DeLorenzo: <http://www.educationcenter.org/lorenzo.html>
45. P. Borrows, *Educ. Chem.*, **1993**, Vol. 30, 18-19.
46. B.Z. Shakhashiri, *Chemical Demonstrations: A handbook for teachers of Chemistry*, (4 Vols.), Ed. University of Wisconsin Press, Wisconsin (1992).
47. Experimentos de Química:  
<http://www.offcampus.es/interactivo.dir/recursos/exper1.htm>
48. G. Pinto, *Educ. Chem.*, **2000**, Vol. 37, 71, 81.
49. G. Pinto y A. Esín, *J. Chem. Educ.*, en prensa.

## LA COCINA, EL LABORATORIO DE LA VIDA COTIDIANA

*Núria Solsona Pairó*

I.E.S. Josep Pla, Josep Serrano 59, 08024 Barcelona. nsolsona@pie.xtec.es

*El estudio se ha realizado a pequeña escala, en la iniciación a la Química en una clase de Enseñanza Secundaria en Barcelona, durante cuatro años. Se explican unas actividades de la secuencia de aprendizaje y se presentan algunos resultados obtenidos cuando se utiliza la cocina como contexto de aprendizaje.*

### 1. INTRODUCCIÓN

En Enseñanza Secundaria Obligatoria (E.S.O.) hay una serie de conceptos básicos de Química que son centrales en el currículo escolar y, al mismo tiempo, son indispensables para la formación de una ciudadanía alfabetizada científicamente. La iniciación a la Química en E.S.O. no siempre resulta muy exitosa y en las últimas décadas, varios estudios han analizado las dificultades de aprendizaje de los conceptos químicos (1). El ámbito de aplicación del estudio parte de la idea de concebir el aprendizaje, de acuerdo con las teorías socioculturales, como una construcción personal que se produce mediante la interacción con los otros elementos didácticos del acto educativo (2). Durante el proceso de aprendizaje se negocian significados mediante el uso sistemático del lenguaje.

La ciencia escolar con que trabajamos en el aula es el resultado de la transposición didáctica que efectuamos el profesorado, adecuada al nivel de desarrollo y a los conocimientos adquiridos por el alumnado. Mi experiencia parte de la idea de no considerar el conocimiento científico como el más válido desde el punto del aprendizaje y tener en cuenta otras formas de conocimiento como el conocimiento cotidiano. El objetivo de mi experiencia es llegar a explicar unos hechos científicos, entre ellos los culinarios, que tengan sentido para el alumnado y disponer un saber científico apropiado para E.S.O. que también incluya la experiencia y el saber de las mujeres. Es decir ir incorporando a los contenidos escolares un saber diferente del que ha sido tradicional en los libros de texto y currículo escolares.

La tradición educativa asigna un rol determinado al profesorado, que debe ajustarse siguiendo una forma de organización que facilita el control técnico de los procesos de aprendizaje. A pesar de ello, el trabajo de investigación y reflexión didáctica nos permite conectar la investigación con la acción y conseguir un grado de autonomía que refuerce nuestro papel en la intervención educativa. Entre los retos de la actividad docente se encuentra el de repensar la enseñanza de la Química y buscar nuevas prácticas educativas. Ser profesional de la enseñanza hoy requiere una implicación personal, con las virtudes y los defectos que esta implicación personal pueda tener en una relación profesional. A veces, las instrucciones de las autoridades

educativas europeas parece que intentan favorecer una intervención educativa que revalorice determinadas habilidades sociales, pero los contenidos curriculares siguen manteniendo ciertas formas de explicar e interpretar el mundo que se consideran culturalmente más válidas que otras.

## **2. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA**

La experimentación de la secuencia didáctica la realizo en 4º curso de E.S.O., en el I.E.S. Josep Pla de Barcelona, desde hace cuatro cursos escolares; los dos primeros cursos en una asignatura optativa trimestral y los dos últimos cursos como contexto de aprendizaje para la asignatura común de Química.

La experiencia parte de la idea que la cocina es un laboratorio (3). En la cocina hay sólidos, líquidos y gases. En la cocina no hay sustancias puras. En la preparación de la comida se usan y se forman mezclas, disoluciones y coloides. Y el alumnado puede determinar las propiedades de sustancias como sal, azúcar, agua, harina, leche, etc. En el laboratorio -cocina escolar se pueden estudiar los coloides, presentes en la vida diaria y en las preparaciones culinarias más apetecibles para la adolescencia. En la cocina se producen cambios físicos y químicos: ebullición del agua, la congelación del agua o un alimento, etc.. En la cocina, los cambios físicos y químicos se producen simultáneamente, como en la preparación del caramelo o de un cocido (4).

Para trabajar en el aula, he organizado una secuencia de actividades didácticas que incluyen las grandes ideas más comunes en el aprendizaje de la Química en E.S.O. (5). Las actividades de enseñanza y aprendizaje implican la realización de actividades manipulativas, experimentos de laboratorio, la preparación de recetas culinarias y la elaboración de textos científicos.

En las actividades, desde el primer momento, relacionamos las explicaciones macroscópicas de los fenómenos químicos con las microscópicas, utilizando el modelo de partículas que posteriormente evolucionará al modelo atómico-molecular. Por ejemplo trabajamos con sustancias, propiedades, modelo cinético, mezclas, disoluciones, coloides, cambios químicos, conservación de la masa, etc. En el laboratorio-cocina escolar hacemos caramelo, requesón a partir de la leche, observamos la oxidación de las frutas al cortarlas, preparamos tartas, etc.

Los datos para el estudio se han obtenido de las respuestas al cuestionario inicial y de los textos explicativos y justificativos elaborados por el alumnado. Los cuestionarios iniciales se contestaron individualmente en clase. Los textos explicativos y justificativos fueron redactados inicialmente en casa, algunos se discutieron en clase y se dio la oportunidad de modificarlos, si lo creían conveniente los alumnos, antes de la redacción final.

### 3. ALGUNOS RESULTADOS

A partir de las actividades de exploración, he comprobado que las estructuras de acogida de las chicas y los chicos son más ricas en el contexto culinario que en el laboratorio. La cocina activa muchas experiencias personales, vivencias y conocimientos anteriores y, en el caso de un grupo importante de chicas, incluso algunos hábitos de trabajo experimental propios de la cocina que serán de mucha utilidad para la iniciación al estudio de la Química. El contexto culinario permite relacionar las experiencias cotidianas del alumnado con el aprendizaje científico. Así, cuando un alumno va con un vaso de precipitados hacia la pila y le comento que no lo moje enseguida porque se podría romper. Edgar me explica que *“a él le ocurrió lo mismo al sacar un plato en el lavavajillas y mojarlo inmediatamente”*.

Algunas de las preguntas que se plantean las chicas en una primera actividad de exploración de las ideas presentes en la clase, son: ¿el café en la cafetera, pasa de estar sólido a estar líquido?; la diferencia entre disolver cola-cao en leche fría o caliente; ¿por qué no se atraen el agua y el aceite?; ¿por qué se corta y cómo se hace el alioli?; ¿por qué al hacer un huevo frito, la clara es transparente al principio y al ponerla al fuego se vuelve blanca?; la formación de requesón y de queso; la fabricación de galletas; ¿por qué se abren los copos de maíz con el calor del microondas?; ¿qué pasa cuando haces una *crêpe*, la gelatina, la *mousse*?; ¿cómo se pone el gas a las bebidas con gas?, etc. Una alumna plantea el siguiente problema: *“cuando el agua hierve, a veces, si me he olvidado de tirar la sal antes y la tiro cuando ya hierve, empieza a hacer espuma y, en cambio, si la tiro antes de que hierva, tarda más en hervir.”*

En otra actividad inicial, que lleva por título “¿Por qué decimos que la cocina es un laboratorio?”, analizamos las sustancias sólidas, líquidas y gases, que hay en la cocina, los instrumentos que se utilizan y los procesos que se realizan. Las listas de sustancias e instrumentos que confecciona el alumnado son muy largas y algunos de los procesos mencionados son: hervir, freír, calentar al microondas, congelar, mezclar, batir, tritura, cortar, y asar. A continuación les propongo escribir un texto que responda a la pregunta: ¿por qué decimos que la cocina es un laboratorio?.

Las chicas escriben textos de una hoja o hoja y media, donde empiezan mostrando sorpresa, para a continuación ir ordenando las ideas sobre lo que están aprendiendo. Por ejemplo, Cristina se pregunta: *¿Por qué podemos decir que la cocina es un laboratorio?*. Y responde: *“Lo cierto es que no me lo había planteado nunca, pero si me pongo a pensarlo, veo que es verdad. En la cocina se encuentran distintos instrumentos y sustancias con los que se pueden experimentar cambios químicos. Con la ayuda de los fogones, que son los que nos dan fuego, y el calor para calentar las sustancias, podemos ver y comprobar qué sustancias se pueden evaporar y a qué temperatura lo hacen. La nevera nos ayuda a mantener frías ciertas sustancias y a enfriar las nuevas que podamos formar. En la cocina, las sustancias son los alimentos, que tenemos que cocinar para poderlos comer. Al cocinarlos se*

*forman, a veces nuevas sustancias, se desprenden otras y algunas cambian de forma y de estado. Hay sólidos, líquidos y gases, mezclas, coloides,... La cocina, a pesar de que la tengamos como el lugar de la casa en la que trabaja la madre, un científico también podría hacer muchas cosas, a pesar de que no todo sea hacer comida, hacer pruebas, experimentos, comprobaciones, etc. En la cocina se encuentran muchas sustancias compuestas; y más ahora que la comida es más compleja: un poco de eso, un poco de aquello y luego lo otro, y acabamos por tener una bebida refrescante. Si alguna persona que entienda un poco, se quiere distraer y tiene tiempo, puede ir a la cocina, coger alguno de estos productos y analizarlos, intentar separar alguno de sus componentes, comprobar cuáles son sus propiedades,... y todo eso, a pesar de que parezca imposible, se encuentra y se puede hacer en la cocina de nuestra casa”.*

Los chicos escriben textos de una extensión que va de un cuarto a una hoja entera. Un ejemplo sería el texto de Oriol:

*“¿La cocina es como un laboratorio?.*

*La verdad es que yo no había pensado nunca que la cocina se pudiera comparar con un laboratorio, a pesar de que físicamente no es un laboratorio y los procesos e instrumentos no son los mismos, se puede decir que se hacen los mismos tipos de cambios químicos y cambios físicos. En la cocina y en el laboratorio, los cambios físicos, también llamados cambios de estado, se hacen según el modelo cinético. Se hace una transferencia de energía de un cuerpo a otro y, al ganar energía, se utiliza para vencer a las fuerzas de atracción que hay entre las partículas. Y así se hace un cambio de estado directo como, por ejemplo, las ebulliciones, los fritos, etc. y si es indirecto es al revés, es decir, el cuerpo, al perder energía, las fuerzas de atracción aumentan y las partículas se vuelven a unir, como por ejemplo en la congelación, etc.*

*En el caso de los cambios químicos, se produce una reordenación atómica de las moléculas, que consiste en organizar las partículas de manera que se originen nuevas sustancias.*

*Por lo tanto deduzco que sí que es verdad, ya que los procesos básicos para cocinar son los que se hacen en un laboratorio”.*

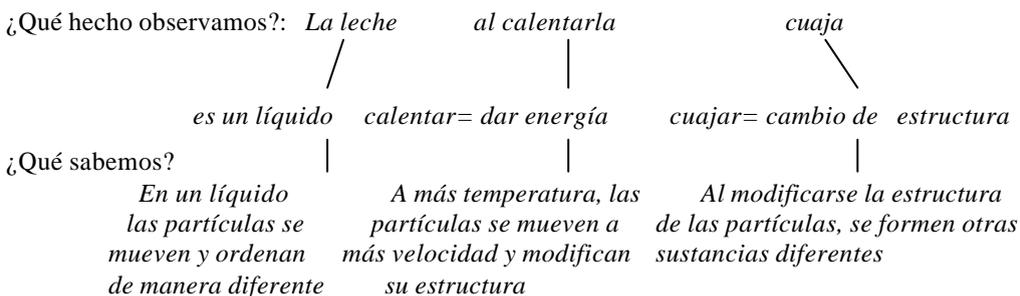
Otra de las actividades lleva por título: “La fabricación de requesón: un cambio de estructura” (6,7). Al alumnado no le resulta fácil escribir buenas explicaciones científicas. Para ello, debe conocer los modelos en los que se basa la Química para explicar un fenómeno y aprender a relacionar las palabras que utiliza para describir el fenómeno con las palabras propias del modelo. A lo largo del aprendizaje científico, el alumnado debe aprender a interpretar los fenómenos, basándose en el modelo de partículas, es decir debe aprender a justificar. Con este objetivo, les propongo que sigan el siguiente esquema adecuado al volumen de conocimientos y al nivel que se puede realizar en la E.S.O.:

**Cómo justificar la observación de un fenómeno:**

⊗ Calentamos leche con unas gotas de limón. ¿Qué conclusión podemos sacar de la observación de este fenómeno?

*“La leche con unas gotas de limón, al calentarla cuaja y forma requesón”*

⊗ Para explicar esta observación hemos de recurrir a los conocimientos teóricos de la Química. En este caso, al modelo de partículas. Esto implica “traducir” el lenguaje de los hechos al lenguaje de la teoría.

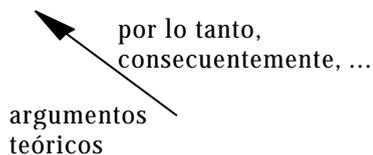


⊗ Para redactar la justificación, tenemos que conectar estos conocimientos, de forma ordenada y utilizando los conectores adecuados. Observa el esquema, el orden de las flechas y los conectores, para escribir una posible redacción de la justificación.

Nivel macroscópico

La leche, al calentarla (*causa*) cuaja y se forma requesón y suero (*efecto*)

porque,  
ya que...



Nivel microscópico

*Cuando calentamos la leche, es decir, al darle energía, sus partículas se pueden mover y cambiar su estructura; por lo tanto, la leche cuaja y en consecuencia se forman el requesón y el suero.*

Los resultados obtenidos por las chicas, en la elaboración del informe científico son:

- Un 60% de ellas no escriben una introducción del informe o dicen simplemente: *“Hoy en clase de experimentales hemos hecho un nuevo experimento, hemos fabricado requesón y ahora explicaré cómo lo hemos hecho”*; *“si alguna vez*

*queréis hacer requesón, lo que se necesita es leche y unas gotas de limón y ponerlo a calentar. Así iremos comprobando el cambio que hace".* Otras chicas escriben una introducción que es más creativa y más personal que la de los informes hechos por sus compañeros de clase, y aprovechan para manifestar su sorpresa o referirse a algún sentimiento relacionado con el éxito en la realización del experimento. Por ejemplo: *"Nunca me hubiera llegado a imaginar que el requesón se hiciera tan fácilmente"; "siempre había pensado que hacer requesón era un proceso de fabricación más complejo y que no sería capaz de hacerlo... ¡pero lo hemos hecho! (de todas formas si algún día quisiéramos dedicarnos a la venta de requesón tendríamos que perfeccionar la presentación"; "al llegar a clase hicimos requesón, una cosa que no esperábamos que saliera tan buena"; "el otro día haciendo el experimento entendimos que pasa cuando se fabrica requesón y observamos que no es tan difícil hacer requesón".* Olga refleja un sentimiento de novedad: *"...hicimos requesón, una cosa que no había probado nunca. Estuvo bien el experimento, siempre es bueno aprender a hacer y observar cosas nuevas".* Y María: *"este experimento me ha parecido interesante porque no sabía el origen del requesón. Ha sido un experimento sencillo y fácil, pero por mi parte con difíciles conclusiones".* Aina indicó: *"yo nunca me había parado a pensar como se hacía el requesón, ya que siempre que lo había comido era de los que se compran en el supermercado".*

- En el desarrollo de la explicación del experimento, la mayoría no pone la lista del material necesario para realizarlo, es decir lo dan por supuesto. Todas las chicas citan las cantidades de las sustancias iniciales a utilizar: 50 g de leche y 10 gotas de limón.

- Los informes no describen con detalle el procedimiento a seguir, sino que se centran en describir las observaciones experimentales. Dan mucha importancia a los cambios de color y a la formación de coágulos que *"se ven"*. Hay una observación que parece definitiva para las chicas, para entender el cambio que ocurre y es que *"la leche se corta"* o *"cuaja"*. Marta conecta la observación con la explicación científica: *"empieza a cuajar y entonces es cuando nos damos cuenta del resultado del cambio de estructura de la sustancia"*. Clara observa: *"Mientras vamos calentando se separan dos sustancias, el suero y el requesón, que es caseína coagulada. Comprobamos que se vuelve más sólido"*. Raquel dice: *"Al calentar se forman coágulos, después el requesón se separa del suero y finalmente se desprenden sustancias volátiles. Cuando se apaga el fuego, se observan dos nuevas sustancias: el suero y el requesón"*. Anna lo explica con todo detalle: *"para empezar a hacer el requesón, añadimos al vaso de precipitados con 50 g de leche, las 10 gotas de zumo limón y lo ponemos a calentar. A los cuatro minutos de ponerlo a calentar, empieza a cuajar y va cambiando de color, se vuelve un poco más amarillo. Un minuto más tarde se separa el coágulo de la parte más líquida ya que los coágulos son más densos que el líquido y por tanto el líquido se queda en la parte de arriba. A los siete minutos hemos apagado el fogón y lo hemos dejado enfriar para después poder pasar el requesón del vaso de precipitados al papel de filtro, doblado en cuatro partes y colocado en el embudo. Como nuestro*

*embudo era bastante pequeño, no hemos podido verter el requesón de golpe para que filtrara y hemos tenido que ponerlo poco a poco y nos ha quedado un poco de requesón en el vaso de precipitados. El líquido transparente y un poco amarillento que resultaba del filtrado en el erlenmeyer era suero.”*

- La interpretación del cambio mejora en la conclusión del informe respecto a las observaciones realizadas durante el experimento. Un grupo dice: *“las partículas de la leche forman grandes agrupaciones en un medio de dispersión; la energía calorífica que suministra el fogón se transforma en energía cinética que se utiliza para tener más movimiento y así cambiar su estructura.”*. El nivel microscópico no siempre se usa de forma precisa y en este caso no ayuda a mejorar las explicaciones. Por ejemplo: *“se ha realizado una reacción ya que de los reactivos: la leche más el limón se forman nuevas sustancias que son el requesón y el suero, que microscópicamente son ácido y caseína”*.

- La conservación de la masa no es fácil de explicar en el informe del requesón, porque se evapora parte del agua que contiene la leche. Algunas chicas (30%) no hacen ninguna mención a la masa de leche, limón, requesón y suero que han medido. El resto hablan de la masa, pero no está claro que entiendan la conservación de la masa. Por ejemplo, una chica dice: *“pudimos comprobar que la masa del requesón es menor que la de leche y el limón juntos”*; *“la masa de las sustancias iniciales es igual a la masa de las sustancias finales menos 2,62 g”*. Un 20% da una explicación completa del tipo: *“una vez terminada la filtración, si medimos la masa del suero y el requesón vemos que es inferior, en 2,62 g de diferencia, ya que se pierden sustancias volátiles en el proceso”*. Otra matiza *“Las dos sustancias obtenidas tienen la misma masa (que las sustancias iniciales) menos 2,62 g. Probablemente se han perdido ya que teníamos que haber apagado el fuego un poco antes, para que no se hubiera volatilizado una parte de las sustancias o bien por los restos de requesón que quedaron en el vaso de precipitados y que no pudimos sacar al pesar al final”*.

- Las chicas incluyen su valoración personal respecto al resultado obtenido, en un 43% de los casos. Algunas dicen: *“añadimos azúcar al requesón y sólo los más valientes lo probaron”* y *“el requesón final no tenía muy buena pinta, pero algunos compañeros lo han probado con azúcar”*. El resto muestra su satisfacción diciendo *“finalmente probamos el requesón a pesar de que esto no entraba en los pasos del procedimiento. Realmente con azúcar estaba bueno”*; *“yo personalmente creo que este requesón ha sido el mejor que he probado en mi vida”* o *“el experimento ha sido interesante y nos ha permitido entender que todo o muchas cosas de la cocina se forman a través de cambios de sustancias”*.

Los resultados obtenidos por los chicos en la elaboración del informe científico son:

- La mayoría de los informes (unas dos terceras partes) no tienen introducción y si la tienen es muy escueta. A veces simplemente marcan el contexto químico del experimento diciendo: *“este experimento lo hemos hecho con la intención de*

*demostrar un cambio de estructura de una sustancia*". Hay tres chicos que expresan un sentimiento de éxito: *"es la primera vez que lo hacemos y nos ha salido muy bueno"*.

- En los informes, todos los chicos enumeran todos los materiales necesarios e indican las cantidades utilizadas en el experimento.

- Las observaciones experimentales no hablan de cambios de color. Ellos se centran en *"la aparición de burbujas (ebullición de la leche), en la coagulación de la leche y en las dificultades en la filtración"*. Sólo tres chicos dan importancia a *"la separación del requesón del suero"*.

- La conservación de la masa no se conceptualiza fácilmente. Los chicos aplican el esquema que han memorizado, pero sin hacerlo operativo ya que se refieren a las sustancias concretas. Así Ángel repite:  $M_{\text{sustancias iniciales}} = M_{\text{sustancias finales}}$ . Iván parece haber comprendido mejor la conservación de la masa cuando dice: *"la masa del requesón es inferior a la suma de la masa de la leche y el limón ya que se desprenden sustancias volátiles"*.

- Al final del informe, dos terceras partes de alumnos expresan su opinión personal. Por ejemplo: *"como a mí no me gusta la leche no me atreví a probar el requesón, pero fue interesante saber como se hace"*, o bien: *"Creo que hacer requesón no es nada difícil y bastante interesante"*, *"me ha gustado porque con azúcar estaba bueno y porque se necesitan pocos ingredientes para hacerlo"*. El resto de las opiniones de los chicos son satisfactorias como las de las chicas.

Uno de los objetivos de la iniciación a la Química es que el alumnado aprenda a elaborar justificaciones equilibradas entre el nivel macroscópico y el microscópico de los cambios químicos. Para ello es muy útil trabajar en el contexto culinario, es decir, en un marco diferente del laboratorio químico. Por ejemplo, en la preparación de una tarta escriben: *"cascamos los huevos, añadimos azúcar y removemos. Añadimos la harina, la leche, la levadura y la piel del limón. Así se realiza una mezcla. Las partículas de los diferentes ingredientes se colocan en los espacios vacíos que hay entre las otras partículas. Al cocer la masa de la tarta al horno se produce un cambio químico ya que se forma una nueva sustancia, el bizcocho de la tarta. Hay una reordenación de las partículas de los ingredientes a consecuencia del calor del horno"*.

En 4º de E.S.O., el estudio de la estructura de los materiales es un tema que el alumnado considera muy teórico. No obstante, el texto siguiente resulta definitivo para convencer al alumnado de su importancia: *"algunas tabletas de chocolate son mejores que otras, a pesar de que contienen los mismos ingredientes y han sido elaboradas con el mismo procedimiento. Durante la solidificación del chocolate, sus moléculas se pueden agrupar de seis maneras diferentes. En el laboratorio de una fábrica de chocolate, observaron que una mezcla de cacao y manteca de cacao (principal ingrediente que determina el sabor del chocolate) disuelta a 50 °C, si se reduce drásticamente la temperatura a 22 °C, solidifica. Se forman cristales distintos, según la temperatura de solidificación que se puede visualizar con rayos X. El cristal óptimo, el*

que resulta más sabroso, se forma a 23,86 °C". La sorpresa del alumnado ante la lectura es de máxima sorpresa, no conciben que, con los mismos ingredientes, se puedan obtener sabores diferentes y, a partir de ahí, manifiestan un interés distinto por el estudio de la estructura de los materiales.

#### **4. REFLEXIÓN FINAL**

Entiendo mi experimentación como un proceso de autorreflexión, donde intento explicitar mis valores y creencias tácitas. Además, nace del deseo de darle sentido a mi propia experiencia de cambio de la práctica docente, encontrar nuevos interrogantes y poder seguir indagando sobre la introducción de nuevos saberes en el aula. Con la Química de la cocina presento explícitamente un modelo de ciencia distinto del tradicional. Durante el aprendizaje, no se trata solamente de memorizar unos conceptos, sino de desarrollar un conjunto de habilidades y procesos que permitan adquirir unos conocimientos para interpretar los fenómenos químicos culinarios y de laboratorio. A partir de mi experiencia en el aula, trato de encontrar pistas para repensar el concepto de ciencia androcéntrico que hemos adquirido, por tradición en nuestra formación científica. Nadie debería ser indiferente a la consideración que la ciencia es el resultado de una actividad humana realizada por la comunidad científica. El currículo debería avanzar en la construcción de los saberes científicos sin la atribución de masculinidad que comportan tradicionalmente y reconocer que la ciencia incluye una serie de hábitos que se detectan a través de la mirada femenina.

Los aprendizajes que realiza el alumnado con la Química de la cocina son de índole escolar, es decir, pertenecientes a la Química escolar que es necesario aprender para cursar Bachillerato. Por ejemplo, el concepto de cambio químico, la estructura interna de las sustancias o la elaboración de textos científicos. Pero además, estos aprendizajes se pueden aprovechar en situaciones reales inmediatamente y en el futuro. Por ejemplo, para saber distinguir entre distintos tipos de azúcares o conocer la utilidad de varias salsas o coloides. Y tendrán aplicación en situaciones precisas, como en la preparación de una tarta para una merienda con la pandilla o en la preparación de una receta culinaria.

La iniciación a la Química en contexto culinario permite abordar con confianza el estudio de una materia que no siempre es recibida con entusiasmo por las chicas y algunos chicos. En la medida que muchas de las tareas que el alumnado debe realizar en clase parten de su iniciativa y creatividad, la indiferencia con que las abordan son menores que cuando se les propone realizar los mismos aprendizajes en la Química tradicional. En la adolescencia, las experiencias de las chicas y los chicos son más amplias respecto a los procesos y sustancias presentes en la cocina que sobre los procesos y sustancias químicas de laboratorio. En estas edades, el alumnado está familiarizado y disfruta trabajando con las sustancias cotidianas que come y manipula, así como con las mezclas que puede preparar para desayunar o merendar. En los

procesos culinarios, el alumnado actúa e interviene en la transformación de los materiales de manera más fácilmente y con mayor iniciativa e implicación

La integración de los saberes femeninos en los contenidos escolares no se puede llevar a cabo de manera automática. Al explorar las relaciones entre los saberes femeninos y la ciencia es muy fácil caer en posiciones científistas. Ante la sorpresa inicial, es fácil llegar a la paradoja de considerar que “todo es Ciencia”. Debemos seguir investigando en la delimitación y dimensiones de los saberes femeninos y los contenidos escolares.

Los saberes culinarios femeninos no se pueden reducir ni asimilar a los saberes científicos oficiales, ya que tienen un *plus* de valores siempre. Pero hay aspectos coincidentes, en la medida que la ciencia intenta dar una explicación a los fenómenos y procesos culinarios. Por ejemplo, el saber culinario conoce que en la preparación de la mayonesa, hay que seguir cierto orden al añadir los ingredientes y que si no se agita correctamente se corta. La Química explica que, en la preparación de la mayonesa, las sustancias forman una emulsión en la que es indispensable el papel del emulsionante. Sin las moléculas de la sustancia emulsionante, la lecitina, la emulsión no se forma.

La valoración del alumnado sobre la Química de la cocina como contexto de aprendizaje es francamente más positiva que de la Química de laboratorio. Marta escribió al terminar las clases de Química de la cocina: “*para entender la finalidad de esta asignatura creo que tendríamos que hacernos una simple pregunta: cuando cocinamos podemos observar, si nos fijamos, que se producen muchos cambios, tanto físicos como químicos, pero realmente ¿somos conscientes de que se producen estos cambios? Una cosa está clara, antes de realizar esta asignatura, yo no. Me he dado cuenta que en este aspecto sabía muy pocas cosas. Por ejemplo, nunca me había parado a pensar que cuando hacemos un pastel se produce un cambio químico...*”.

## REFERENCIAS

1. N. Solsona, M. Izquierdo y O. de Jong, *Int. J. Sci. Educ.*, **2003**, Vol 25, 1, 3-12.
2. M. Izquierdo y N. Sanmartí, “Fer ciència a través del llenguatge” en N. Sanmartí (ed.) *Aprendre ciències tot aprenent a escriure ciència*. Edicions 62, Barcelona (2003).
3. N. Solsona, *Cuadernos de Pedagogía*, **2001**, 299, 40-43.
4. N. Solsona, *Aula para la Innovación Educativa*, **2001**, 105, 41-44.
5. N. Solsona, *Cuaderno de Educación no Sexista*, 13, Instituto de la Mujer, Madrid (2002).
6. H. D. Belitz y W. Grosch, *Química de los alimentos*. Acribia, Zaragoza (1997).
7. E. Custodio y N. Solsona, La justificació, el perquè del perquè, en N. Sanmartí (Ed.) *Aprendre ciències tot aprenent a escriure ciència*. Edicions 62, Barcelona (2003).

## NUEVA ESTRATEGIA DIDÁCTICA EN EL LABORATORIO DE FISCOQUÍMICA

*Ramiro E. Domínguez Danache, Carlos M. Castro Acuña*  
Departamento de Fisicoquímica, Facultad de Química  
Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria  
04510-México D.F. danache@servidor.unam.mx

*Con base en el desarrollo del tema de disoluciones, presentamos una metodología para el laboratorio de Fisicoquímica, común a todas las carreras que se imparten en la Facultad de Química. Cada sesión se inicia con un organizador previo en el que se hace énfasis en los aspectos de la Química y la vida cotidiana. Se llevan a cabo actividades que promueven el aprendizaje cooperativo, los estudiantes responden un cuestionario previo, realizan el trabajo experimental en equipo, haciendo énfasis en la indagación sobre los fenómenos observados y, finalmente, elaboran un mapa conceptual.*

### 1. INTRODUCCIÓN

En la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México (U.N.A.M.), se imparten cinco carreras relacionadas con la Química, con una duración de 9 semestres: Ingeniero Químico, Químico, Ingeniero Químico Metalúrgico, Químico Farmacéutico Biólogo y Químico de Alimentos.

En los actuales planes de estudio, así como en los que deberán entrar en vigor en septiembre de 2003, todas las carreras incluyen un tronco común, en el que se ubican dos cursos de Fisicoquímica (uno de Termodinámica y otro de Equilibrio y Cinética química), cada uno con su respectivo programa de laboratorio.

Dentro de las actividades experimentales presentamos en este trabajo la unidad didáctica dedicada al tema de disoluciones.

### 2. DISOLUCIONES: FORMAS DE EXPRESIÓN DE LA CONCENTRACIÓN

*Organizador previo:*

***Hace más accesible y familiar el contenido y genera en el alumno una visión global y contextual.***

Tratar con disoluciones es más frecuente de lo que pensamos. Seguramente has estado cerca de las siguientes situaciones, o al menos has oído hablar de ellas:

- Al inicio del día, tomar una taza de café, que puede estar muy aguado (diluido), o bien muy cargado (concentrado). ¿Qué cantidad de café hay que poner para un litro de agua?.

- Resulta también importante la cantidad de detergente que se ponga en la lavadora para que este cumpla su función adecuadamente. ¿Qué cantidad de detergente hay que poner para una lavadora con 20 litros de agua?.

- En días calurosos apetece una agua fresca, que contenga la cantidad precisa de azúcar, para que no quede aguada y desabrida (diluida), o bien tan dulce (concentrada), que no nos quite la sed. ¿Cuántos gramos de azúcar son adecuados para un vaso de agua?.

- El suero que se administra a los enfermos contiene en algunos casos glucosa y en otros cloruro de sodio. ¿Cuántos gramos de estas sustancias se deben poner por litro de disolución?

En todos los casos resulta importante la relación que hay entre la sustancia que se está disolviendo y la cantidad de agua (disolvente) en la que se prepara la disolución.

Además del agua, existen otros disolventes, más apropiados para disolver otro tipo de sustancias como las grasas, pinturas, y muchos otros compuestos que son insolubles o muy poco solubles en agua.

En cualquier caso se tiene una disolución, que es cualquier mezcla homogénea (a nivel molecular), de dos o más componentes. Entre los componentes de una disolución el que constituye una mayor proporción de la disolución es el disolvente y el que se encuentra en menor proporción se denomina soluto. Una disolución es una fase simple y puede ser gaseosa, líquida o sólida.

La cantidad de soluto que se puede disolver en un disolvente depende de la temperatura, la presión y la naturaleza de las sustancias involucradas. Una disolución que contiene tanto soluto como puede contener el disolvente, a una temperatura dada, se conoce como disolución saturada, en tanto que si contiene más, se le conoce como disolución sobresaturada y, si contiene menos, se conoce como no saturada.

La solubilidad de una sustancia cambia con la temperatura. Si al disolverse una sustancia desprende calor, su solubilidad disminuye al aumentar la temperatura, en cambio si se disuelve con absorción de calor, la solubilidad aumenta al aumentar la temperatura.

En el caso de sólidos y líquidos, la presión no tiene un efecto significativo sobre la solubilidad, en cambio para los gases es considerable. A mayor presión la solubilidad de los gases es mayor.

Si el soluto y el disolvente son de carácter químico similar son más fácilmente solubles entre ellos. Compuestos polares disuelven a compuestos polares y compuestos no polares disuelven a compuestos no polares.

Cuando la naturaleza de las sustancias es considerablemente diferente, las sustancias no se toleran y en consecuencia la solubilidad puede ser baja o prácticamente nula.

Existen varias formas en las que se puede expresar la concentración de una disolución. Entre estas destacan:

- *M* : molaridad (moles de soluto/litro de disolución).
- *m* : molalidad (moles de soluto/kg de disolvente).
- *N* : Normalidad (equivalentes de soluto/litro de disolución).
- *x* : fracción mol (moles de soluto/moles totales en la disolución).
- ppm : partes por millón, (gramos de soluto/millón de gramos de disolución).
- *c* : gramos/unidad de volumen (g/mL, g/L).
- porcentaje en masa (masa de soluto/masa total de la disolución x 100).
- porcentaje en volumen (volumen de soluto/volumen total de la disolución x 100).

De las expresiones anteriores, aquéllas que están referidas a la masa son independientes de la temperatura, en tanto que aquellas que están referidas al volumen, cambian con la temperatura ya que el volumen depende de la dilatación térmica de la disolución.

El tiempo previsto para el desarrollo de esta actividad es de 20 minutos.

Las siguientes actividades se llevan a cabo en equipos de trabajo de cinco alumnos.

*Componente motivacional e inicio de aprendizaje cooperativo:*

**Mantiene la atención y el interés del alumno; ayuda a contextualizar su aprendizaje y darle sentido.**

A.1. Expresa mediante palabras o dibujos lo primero que venga a tu mente al leer los siguientes conceptos:

- |              |                   |               |
|--------------|-------------------|---------------|
| - solución   | - disolución      | - soluto      |
| - solvente   | - disolvente      | - solubilidad |
| - saturación | - sobresaturación | - dilución    |

- Anota tus respuestas.
- Compara con tu equipo los resultados y anótalos.
- Anota los resultados de la puesta en común.

Esta actividad: centra la atención del alumno en el tema, promueve el aprendizaje colaborativo y funciona como activador motivacional. El tiempo estimado para su desarrollo es de 20 a 25 minutos.

*Preinterrogantes:*

***Esta estrategia se utiliza para activar el conocimiento previo y tender puentes entre el último y nuevo conocimiento.***

A.2. Es muy importante tener un lenguaje común para poder entendernos, investiga en libros de Química y/o de Fisicoquímica para responder las siguientes preguntas:

1. ¿Qué es una disolución?
2. ¿Qué diferencia hay entre un soluto y un disolvente?
3. ¿Qué diferencia hay entre una disolución molar y una disolución molal?
4. Conocida la concentración molal (m), ¿Cómo se puede conocer la concentración molar (M)?
5. ¿Qué material se requiere para preparar una disolución?
6. ¿Cuáles son las propiedades físicas, químicas y de toxicidad de los reactivos que se van a usar y qué medidas de seguridad deben emplearse?

*Aprendizaje por indagación:*

***Permite aumentar el nivel de los alumnos en forma gradual dándoles la capacidad de distinguir entre conceptos.***

A3. Aplica la lista de conceptos que investigaste, a cada una de las siguientes actividades y:

- a. Observa y analiza lo que sucede.
- b. Anota lo que sucede.
- c. Discute con tus compañeros de equipo los resultados.
- d. Anota los resultados de la *puesta en común* con el profesor.

Dispones de 60 minutos para estas actividades y 15 minutos para obtener conclusiones por equipo. Se debe elegir a uno de los compañeros como *coordinador* por equipo, que elabore el resumen.

a.1. Observa las tablas 1 y 2. Calcula la cantidad necesaria de cada uno de los solutos para preparar 100 mL de las disoluciones de cloruro de sodio y de sacarosa que se indican.

a.2. Pesa los matraces aforados de 100 mL limpios y secos.

a.3. Prepara 100 mL de las disoluciones de cloruro de sodio y de sacarosa que se indican en las tablas 1 y 2. Utiliza para ello los matraces aforados de 100 mL.

a.4. Pesa los matraces con las disoluciones y, por diferencia, determina la masa de la disolución.

a.5. Completa las tablas 1 y 2, calculando la masa de disolvente, la molalidad y la densidad de las disoluciones.

a.6. Construye las siguientes gráficas para cada conjunto de disoluciones:

- m-M vs. M (molalidad menos molaridad frente a molaridad).
- m vs. M (molalidad frente a molaridad)
- densidad vs. M (densidad frente a molaridad)
- densidad vs. m (densidad frente a molalidad)
- ¿Qué tipo de función se obtiene en cada caso?. ¿Son lineales?.
- ¿Qué ocurre con la diferencia m-M al aumentar la concentración:
  - Para la disolución de sacarosa.
  - Para la disolución de cloruro de sodio.
  - ¿En cuál es mayor el efecto?.
- ¿En qué condiciones la concentración molal (m) se aproxima a la concentración molar (M)?.
- ¿Ocurre esto para cualquier disolvente?. ¿Por qué?.

Finalmente, deben establecerse comentarios y conclusiones del grupo.

Tabla 1. *Disoluciones de Cloruro de Sodio (NaCl)*  
(100 mL de cada disolución).

M molaridad (mol/L)	w <sub>2</sub> sóluto (g)	w <sub>1</sub> disolvente (g)	W disolución Total (g)	n <sub>2</sub> (sóluto)	m molalidad (Moles/kg.)	m-M	Densidad de la disolución (g/mL)
0.2							
0.4							
0.6							
0.8							

*Mapa conceptual*

***Permite al alumno contextualizar las relaciones entre conceptos y proposiciones.***

A.4. Construcción de un segmento del mapa conceptual de Físicoquímica.

Ubica los conceptos involucrados en el mapa conceptual de la Físicoquímica.

Esta actividad funciona como sintetizador. El tiempo estimado para su desarrollo es de 10 a 20 minutos.

Tabla 2. *Disoluciones de Sacarosa (C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>)*  
(100 mL de cada disolución).

M molaridad (mol/L)	w <sub>2</sub> solute (g)	w <sub>1</sub> disolvente (g)	W disolución Total (g)	n <sub>2</sub> (solute)	m molalidad (Moles/kg.)	m-M	Densidad de la disolución (g/mL)
0.2							
0.4							
0.6							
0.8							

## REFERENCIAS

1. R. E. Domínguez, T. Delgado, M. Téllez, X. Arévalo, J. Flores, *Proyecto: Diseño Instruccional del curso de Termodinámica. Modelo de la elaboración de Reigeluth*. Facultad de Química UNAM, Reporte interno (2001).
2. X. Arévalo, R. E. Domínguez, M.T. Herrera, *Memorias del XVII Congreso Nacional de Termodinámica*, Sociedad Mexicana de Termodinámica, **2002**, Vol. 1 (1), 603-611.

## LA QUÍMICA Y LA VIDA

*Enrique de las Alas Pumariño*

Federación Empresarial de la Industria Química Española (FEIQUE)

Hermosilla 31, 28001-Madrid. ehm@feique.org

*Hoy, la enseñanza de la Química se asienta en los conocimientos teóricos y en mostrar a los alumnos cuáles son los elementos, cómo se formulan y cómo reaccionan. Sin embargo, existe una gran laguna didáctica en lo que se refiere a sus usos y aplicaciones. “La Química y la Vida” es un recorrido por los usos más frecuentes y cotidianos de los productos químicos en nuestra sociedad actual y futura. Probablemente la mayoría de la población desconoce que 15 años de nuestras vidas se los debemos a los medicamentos, o que cada día disponemos en nuestra mesa de alimentos saludables y frescos gracias a numerosos productos y procesos químicos que lo permiten, o que los CDs de música que escuchamos no serían posibles sin la Química. El objetivo es despertar vocación y admiración hacia esta maravillosa Ciencia, la que garantiza la mejora constante de nuestra esperanza y calidad de vida.*

### 1. ¿POR QUÉ ES IMPORTANTE LA QUÍMICA?

La esperanza de vida se ha ido incrementando vertiginosamente a lo largo de los siglos debido fundamentalmente a los avances de la investigación científica. A principios del siglo XX, la esperanza de vida no superaba apenas los 35 años, pero la Química, entre otras Ciencias, ha permitido que esta edad se haya duplicado en la actualidad. Todo nuestro organismo es en sí mismo un cúmulo de procesos químicos, una maquinaria que gracias a los avances científicos podemos mantener en óptimas condiciones de funcionamiento. Nuestros procesos corporales son químicos en su mayoría. Mientras respiramos, hacemos la digestión, crecemos, envejecemos e incluso pensamos, estamos siendo reactores químicos ambulantes. Los procesos químicos de las fábricas son diferentes en escala, más que conceptualmente, puesto que en ellas se procesan, se separan y se recombinan materiales para convertirlos en nuevas y provechosas formas.

### 2. LA QUÍMICA ES LA CIENCIA DEL SIGLO XXI

Durante los próximos 30 años, la población mundial aumentará en 2.000 millones de personas que necesitarán alimento, vestido, vivienda, proteger su salud y vivir en un entorno acogedor. La existencia de una mayor esperanza de vida, ha hecho que adquiera una importancia creciente el objetivo de combatir las enfermedades crónicas de los más ancianos: artritis reumatoide, osteoporosis, artrosis, Alzheimer,

involución senil, cardiopatías... Para superar todas estas carencias será la Química la ciencia a la que habrá que dirigirse durante el próximo milenio.

### **3. LA QUÍMICA Y LA SALUD**

#### **3.1. Medicinas, vacunas y productos sanitarios**

La Química contribuye de forma esencial a la mejora de la alimentación y la higiene, conjuntamente con otras ciencias y tecnologías, y es la protagonista esencial, mediante los productos farmacéuticos, en la lucha contra las enfermedades y en la mejora de la calidad de vida hasta edades muy avanzadas. Klaus Heilman, director del Instituto de la Salud de Munich, calculó que 15 años de nuestras vidas (20%), se los debemos a los medicamentos. A esta revolución en la mejora de la salud humana han contribuido, entre otros, dos grupos de medicamentos: los antibióticos, que han revolucionado la cura de las infecciones causadas por microorganismos, y las vacunas, que han estado en primera línea de defensa contra las epidemias, enfermedades contagiosas y patologías previsibles.

Gracias al cloro, no sólo se potabiliza el 98% del agua que consumimos, sino que este elemento está presente en la fabricación de 8 de cada 10 medicamentos. Sin él estaríamos expuestos a terribles enfermedades como el cólera. Por ejemplo, la lucha contra la malaria y el mosquito que la transmite es absolutamente esencial si consideramos que más de 100 millones de personas (la población conjunta de España y Francia), resultan infectadas anualmente.

Además, las nuevas moléculas químicas hacen posible el transplante de órganos y la Farmacia está introduciéndose en el campo de la terapia génica. Las medicinas alivian el dolor y mejoran la calidad de vida; tan sólo en Europa, hay 30 millones de personas que sufren artritis o reumatismo, 5 millones de enfermos del corazón, 0,5 millones que padecen la enfermedad de Parkinson, de 20 a 30 millones con desórdenes nerviosos, e incontables enfermos de diabetes, epilepsia o asma.

#### **3.2. El hombre reparado**

Sin los productos químicos cientos de miles de europeos estarían hoy incapacitados. Los repuestos para las articulaciones y los miembros ultraligeros están fabricados con nuevos materiales, con propiedades especiales tales como la biocompatibilidad. Las válvulas cardíacas, los marcapasos, los riñones artificiales y el hilo de coser de los quirófanos están hechos de productos químicos de alta tecnología y muchos aparatos fabricados con ellos funcionan gracias a la Química. Los sordos pueden oír por medio de diminutos aparatos de plástico provistos de pilas, los ciegos pueden ver con córneas artificiales de materiales sintéticos y los cojos pueden andar gracias a prótesis de materiales químicos biocompatibles.

Y las reparaciones -las operaciones quirúrgicas- sólo pueden realizarse mediante incontables productos químicos como antisépticos, desinfectantes, gases industriales, finos tubos de plástico, bolsas de sangre, adhesivos, y la anestesia, que es una de las invenciones a las que prácticamente todo el mundo está agradecido por experiencia personal, y que ha hecho algo más simpáticos a los dentistas.

### **3.3 Materiales de Protección: la Química nos proporciona una cabeza más dura**

Para prevenir los accidentes o mitigar los daños, el hombre recurre también a lo que podríamos llamar prótesis externas, como los cascos, guantes de protección, calzado de seguridad, gafas, trajes ignífugos, chalecos antibalas, e incluso trajes espaciales, fabricados todos ellos con materiales químicos ligeros y de altas prestaciones.

## **4. LA QUÍMICA Y LA ALIMENTACIÓN**

Si preguntamos a un niño “¿de dónde vienen los alimentos?”, probablemente responderá: “de la nevera”, o, quizás, “de la tienda”. Y si le preguntamos a un adulto la respuesta puede ser “del campo y de las fábricas”, sin pensar que “el campo” da poco por sí mismo. Eso que llamamos con cierta ligereza “el campo” son “las tierras cultivables”, que constituyen un bien escaso cuya extensión está continuamente amenazada por la desertización y el crecimiento de las zonas urbanas.

Y ya que hablamos del campo: una sola planta de acrilonitrilo – que ocupa la extensión de un campo de fútbol – permite producir la misma cantidad de fibras textiles que un “rebaño” de 12 millones de ovejas que, para pastar, necesitarían una extensión del tamaño de Bélgica. La fabricación de fibras sintéticas, acrílicas, de poliéster, de nylon y otras, en centenares de fábricas distribuidas por todo el mundo, permite disponer de más tierras cultivables que en otro caso tendrían que dedicarse a la cría de ganado lanar o a la plantación de vegetales para la obtención de algodón, lino o sisal, y no habría espacio suficiente en la Tierra para abastecer las necesidades textiles.

### **4.1. Los Fertilizantes**

El área dedicada a la agricultura en el mundo hoy en día (1.400 millones de hectáreas, que es una extensión equivalente a la de Sudamérica) es la misma que en 1950 gracias a la agricultura intensiva y sostenible facilitada por la ayuda de fertilizantes y productos agroquímicos, a pesar de que en ese tiempo la humanidad ha pasado de 2,5 a 6 mil millones de personas. Esto ha evitado la utilización de 26 millones de kilómetros cuadrados más de suelo – lo que equivale a la superficie

conjunta de los dos países más extensos de la Tierra: Rusia y Canadá - para alimentar a la población actual.

La Organización Mundial de la Salud calcula que en el año 2050 la población mundial alcanzará los once mil millones de habitantes. Indudablemente, la aplicación de avanzadas técnicas químicas permitirá que la agricultura sea capaz de producir alimentos suficientes para cubrir las necesidades de la Humanidad. Sin estas técnicas, no será posible hacer frente a las necesidades generadas por el crecimiento puramente vegetativo de la población, ni tampoco a los cambios nutricionales que se esperan.

#### **4.2. Los Fitosanitarios**

La Química moderna protege y mejora las cosechas utilizando diversos productos fitosanitarios: fungicidas, herbicidas e insecticidas selectivos, que no son perjudiciales para el medio. Debido a su mayor eficiencia y selectividad, hoy en día los agricultores sólo necesitan aplicar dosis mínimas de productos químicos por cada hectárea en lugar de las grandes dosis que utilizaban en el pasado. De esta manera no sólo se obtienen mejores y mayores cosechas, sino que los productos llegan a los mercados en mejores condiciones higiénicas. Si no fuese por estos productos para controlar las malas hierbas, las plagas, las pestes y las enfermedades, dos terceras partes de los alimentos producidos en el mundo (dos barras de pan de cada tres) se perderían.

#### **4.3. La Salud animal**

La nutrición del hombre requiere no sólo la obtención de cosechas abundantes y sanas, sino también la protección sanitaria y la alimentación de los animales. Sólo en Europa hay cerca de 280 millones de animales destinados a la alimentación, contando sólo los ganados bovino, porcino y ovino. La Química los protege contra las enfermedades y los parásitos y contribuye a su alimentación. Si no se tratara a los animales con fármacos, se perdería un 47% del ganado bovino, un 35% del porcino, un 22% del ovino y un 20% del aviar.

### **5. LA QUÍMICA Y LA CULTURA**

La fabricación del papel – soporte tradicional de la cultura escrita - sólo es posible gracias a la Química, y los libros, que requieren papel, tintas y adhesivos, deben también a la Química su existencia. Además, la Química actualmente no sólo ayuda a obtener el soporte, sino que sus propios productos son el soporte de nuevas formas culturales. Así, los productos químicos generan la fabricación de papeles sintéticos, fotografías, cine, las cintas magnéticas de vídeo o audio, los disquetes, los discos compactos y los CD-Rom y DVD, que permiten el almacenamiento de textos

muy extensos, fotografías, sonido y vídeo, hasta tal punto de que en un solo CD-ROM caben centenares de obras literarias.

La pintura, desde los orígenes del hombre, requiere colorantes variados, estables y resistentes al medio ambiente, y para conservar el enorme patrimonio cultural de la humanidad, sometido a la acción del tiempo, los agentes meteorológicos y la acción a veces violenta del hombre, precisa de productos que sirven para reparar, reconstruir y proteger obras de arte.

Pero en la transmisión de la cultura, aún más importante que el papel, ha sido la tinta, que nos acompaña desde hace ya más de 40 siglos. Su historia es una aventura de la investigación, puesto que ha tenido que ir evolucionando a medida que se modificaban los soportes en los que debía aplicarse. Hoy en día, existe un tipo de tinta aplicable a casi cualquier tipo de superficie imaginable.

## **6. LA QUÍMICA EN EL HOGAR Y EN LA VIDA DIARIA**

La Química permite fabricar productos para la limpieza, para el aseo personal y el cuidado de los niños, y elabora materiales para la construcción de aparatos electrodomésticos o la óptima conservación de los alimentos, facilitando de forma decisiva las tareas del hogar. En las economías primitivas, se dedicaban 16 horas al día a las necesidades básicas y, en el mundo moderno, tan sólo dos, debido a los detergentes, la ropa fácil de planchar y limpiar, o los alimentos congelados, por ejemplo. Empezando por la cocina, en ella encontramos utensilios recubiertos de plástico a los que no se adhieren los alimentos, recipientes y muebles del mismo material, placas cerámicas, filmes transparentes para envolver, bandejas antideslizantes, latas de conserva protegidas interiormente y alimentos preparados contra el efecto de hongos y bacterias. Si pasamos a la sala de estar, allí se encuentran la televisión, el vídeo, un reproductor de sonido, discos compactos, y cintas magnéticas. Todos ellos constituidos por materiales químicos. Y en todas las habitaciones hay elementos derivados de productos químicos: alfombras, tapicerías, telas, relleno de almohadas, jabón, perfumes, pintura, adhesivos, juguetes, detergentes, insecticidas, o cosméticos.

La Química nos viste para cada ocasión. Las fibras naturales son difíciles de modificar y se producen de una manera relativamente ineficiente. Las fibras sintéticas se pueden alterar para que respondan a necesidades específicas y se producen en gran cantidad fácilmente. Además, las fibras naturales no son tan naturales como parecen. ¿Ha visto usted la lana tal como la producen las ovejas, o cómo queda el algodón que, al no tener protección química, es atacado por una plaga de escarabajos?.

La Química también nos ayuda a obtener mayores rendimientos en el empleo de los alimentos, permitiendo su conservación y su transporte en cámaras frigoríficas, preservando sus propiedades y alargando su vida, tanto en los mataderos, como en los grandes almacenes, las tiendas y, por último, en los refrigeradores y neveras domésticas. Por último debe citarse la enorme importancia que tienen los envases,

fabricados con productos químicos, para la conservación de los alimentos. Estos recipientes de aspecto inocente son admirables piezas tecnológicas. Deben ser ligeros y resistentes, y los hay compuestos por numerosas capas de filmes diferentes, cada una con funciones y propiedades específicas.

## **7. LA QUÍMICA ES LA CIENCIA DE ESTE MILENIO**

La Química se encuentra en la vanguardia del cambio. Los nuevos usos de los productos químicos crecen diariamente. La revolución química está a punto de transformar otras industrias que han permanecido inmutables desde el siglo pasado. Por ejemplo, en la construcción de puentes colgantes, los cables de acero de alta resistencia están dando paso a fibras de polietileno, que son mucho más ligeras y no se corroen. En el campo de la electrónica, la tecnología química está jugando un papel cada vez más importante. Varias compañías líderes europeas se están convirtiendo en grandes productores de arseniuro de galio, la sustancia que sustituirá al silicio en los chips del mañana, y algunas están en primera fila en la producción de fibras ópticas avanzadas y en el uso de materiales acrílicos para los cables ópticos.

Los investigadores químicos están también en las fronteras de los descubrimientos científicos. Desde luego, esto ocurre en el caso de la Biotecnología, pero también sucede en áreas como la Física. En este campo, los científicos están implicados en la carrera para alcanzar la superconductividad práctica a altas temperaturas, y están trabajando sobre nuevos materiales cerámicos que han sido diseñados para utilizar poca energía - o no utilizarla - y producir importantes efectos magnéticos. Curiosamente, hace pocos años, la gente decía que habíamos llegado al final de la senda innovadora, y que no habría más plásticos ni fibras nuevas. Casi de la noche a la mañana, la industria química se ha convertido en el corazón de una verdadera y profunda revolución industrial y ha pasado de ser una industria de chimeneas a ser una industria de alta tecnología.

## **8. EL TRANSPORTE**

### **8.1. Los Aviones**

El secreto del ahorro de combustible está en la ligereza de peso, conseguida a través de los productos químicos, compuestos que pueden ahorrar hasta un 30 % del peso de la estructura de un avión. Poco a poco, se está acercando la era del avión de plástico. En el Airbus Europeo A320 se emplean resinas sintéticas reforzadas con fibras de carbono, y en el nuevo avión avanzado de pasajeros (*Beechcraft "Starship"*) se emplean estos materiales en la construcción del cuerpo y de las alas. Desde que aparecieron los primeros aviones de reacción, los litros de carburante consumidos por asiento cada 100 km se han reducido a la mitad. Una disminución de un kilogramo en el peso de un avión supone un ahorro medio de 120 litros de carburante al año. Por lo

que se refiere a la seguridad, los productos químicos son capaces de apagar instantáneamente un eventual incendio de los motores y todos los reactores tienen sistemas automáticos de extinción basados en ellos.

## 8.2. Los Automóviles

Uno de cada doce puestos de trabajo en Europa tienen relación con el automóvil, lo que es una muestra de la gran importancia económica y social de una máquina que no sería posible sin el auxilio de sofisticados productos químicos. Los combustibles han podido ser utilizados durante muchos años con mayor rendimiento y, por lo tanto, con una mayor economía, mezclados con derivados químicos del plomo, hoy sustituidos por otros productos químicos y, si faltase el petróleo, la Química podría proporcionar, como en Brasil, metanol de origen vegetal. Del orden de 8 millones de toneladas de plásticos viajan hoy día por las carreteras europeas, sustituyendo el peso correspondiente de metales, principalmente hierro, con una densidad 7 veces mayor. Los plásticos son la mejor manera de dar forma aerodinámica a los vehículos para reducir su coeficiente de penetración y los vehículos se pueden mantener fuera del garaje debido a la pintura que los embellece y protege. Desde que los primeros automóviles aparecieron, la vida de los neumáticos se ha alargado 400 veces, añadiendo seguridad y comodidad a los viajes. Otros productos como los anticongelantes impiden los problemas del invierno, los lubricantes (que son verdaderos productos de alta tecnología, resistentes al calor, al frío y al tremendo batido al que están sometidos) reducen el desgaste de las piezas móviles, y cada fluido del coche es un producto químico especialmente diseñado para un propósito.

La seguridad pasiva del automóvil depende también en gran parte de los productos químicos, como ocurre con las lunas antichoque, las resistentes fibras de los cinturones de seguridad y los sistemas de inflado instantáneo de los *airbags*.

Pero aún no hemos llegado y ya empieza a vislumbrarse el automóvil del futuro. El desarrollo del moldeo de plásticos de micro precisión está llevando a la ingeniería a una nueva dimensión. Por todas partes, se están desarrollando motores avanzados que emplean cerámica y no precisan de refrigeración. Tampoco están lejanas las baterías fabricadas con filmes de muy bajo espesor que se pueden curvar para montarlas casi en cualquier sitio.

## 9. LA INFORMÁTICA

La informática se basa en los chips de silicio y en los de arseniuro de galio, cuyos circuitos están contruidos mediante procesos fotoquímicos. Los soportes magnéticos y los CD-ROM están fabricados con plásticos como el policarbonato, y las pantallas están recubiertas internamente por productos sensibles a la luz. También las carcasas, los teclados, el cableado y ese ratón que usted acaricia y que le hace navegar por el ciberespacio, están hechos con polímeros.

## **10. LA CONSTRUCCIÓN**

En la construcción se emplean un incalculable número de productos químicos con los fines más variados. La pintura, las cubiertas de los tejados, las tuberías y ahora también las puertas y las ventanas, están hechas de materiales plásticos, como el PVC, produciendo un gran ahorro de madera y ayudando a evitar la deforestación.

El "calor de hogar" se mantiene gracias a espumas de materiales aislantes y los graves problemas de corrosión que afectan al hormigón armado han llevado a la introducción de materiales aeroespaciales en la construcción. Ya hace algunos años se empezó a utilizar, en lugar de acero, fibra de vidrio con resinas de poliéster, para reforzar el hormigón en la construcción de puentes de carretera.

Tanto si la tarea es restaurar, como modernizar o construir nuevos edificios, la industria de la construcción se enfrenta continuamente con el problema de preservar y crear ambientes cada vez más acogedores y mejor adaptados a las necesidades del hombre. Sin la contribución de la Química esta tarea no podría abordarse.

## **11. LA QUÍMICA Y EL DEPORTE**

Si los deportistas están batiendo continuamente sus propias marcas es debido a la evolución de los equipos basados en nuevos materiales químicos, más flexibles, más ligeros y más fuertes que permiten llegar más lejos, más alto y con mayor velocidad. La madera, el hierro, el cuero y otros materiales tradicionales han dejado paso a otros compuestos de simple o alta tecnología

Tanto si el hombre desea alcanzar los picos más altos, la profundidad de los mares o simplemente divertirse el fin de semana, debe aproximarse a la Química, pues necesita cuerdas ligeras y resistentes, trajes protectores, botas especiales, cremas, oxígeno, gafas o raquetas y palos de golf ligeros, fuertes y elásticos. Posiblemente no haya otras moléculas que hayan recibido más patadas que las de los polímeros y elastómeros empleados en la fabricación de balones.

## **12. TODO ES QUÍMICA**

Todo lo que nos rodea es fruto del trabajo constante de investigadores y científicos que han utilizado la Química para mejorar la calidad de vida del hombre. Sin las aportaciones de esta ciencia, no existiría un solo medicamento, no habría alimentos suficientes para todos ni agua potable, y la informática, la aeronáutica o las telecomunicaciones serían tan solo meras quimeras.

Porque en definitiva, átomos y moléculas son la única herramienta que tiene el hombre para crear.

## QUIMICA EN ACCIÓN: UNA EXPERIENCIA DE DIVULGACIÓN DE LA QUÍMICA

*Facultad de Química, Universidad de Alcalá*  
Campus Universitario, Carretera Madrid-Barcelona km. 33  
28871-Alcalá de Henares, Madrid. decanato@quimica.uah.es

*Se exponen los aspectos organizativos, metodológicos y prácticos de una experiencia divulgadora de la Química llevada a cabo en la Universidad de Alcalá. Se incluye una valoración de la misma y se presenta un modelo para la creación de un grupo estable de difusión y divulgación.*

La Química ha pasado a engrosar la lista de otras disciplinas científicas, como la Física o las Matemáticas, que se están enfrentando a un proceso paulatino de descenso de estudiantes interesados en su aprendizaje. Durante algún tiempo, este proceso no mereció la atención de los responsables académicos, que llegaron a considerarlo, en algunos casos, como una oportunidad para reducir de forma natural la masificación que sufrían estas titulaciones en la década de los ochenta y principios de los noventa. Sólo muy recientemente se han disparado las alarmas al constatar como este proceso se ha acelerado en los últimos años, dando como resultado un elevado número de plazas vacantes en los primeros cursos como consecuencia de una demanda de plazas muy por debajo de la oferta que efectúan las Universidades.

La caída demográfica, la proliferación de universidades y el aumento de titulaciones, entre otros factores, van agravar la situación que ya padecen muchas Facultades de Química, hasta el punto que algunas de estas pueden llegar a ser inviables por la ausencia del factor que en su día determinó su creación: los estudiantes.

Aunque en distintos niveles académicos e industriales se va tomando conciencia de la gravedad de la situación y de la urgente necesidad de “hacer algo” para conseguir que los estudiantes de secundaria recuperen el sentido vocacional por la Ciencia, se sientan intelectualmente atraídos por la Química, conozcan que tras ella hay un importante sector industrial con posibilidades de empleos de calidad y entiendan la capacidad innovadora de esta Ciencia, la consideración social de la Química, la imagen mediática que de ella se trasmite y la poco relevante presencia de ésta en el currículo de la enseñanza secundaria, pesan de forma determinante sobre los estudiantes en el momento de decidir hacia dónde orientar sus estudios superiores.

¿Cómo modificar esta situación?. Parece existir una opinión unánime en que revertir este proceso de pérdida de estudiantes no va a ser ni fácil, ni rápido. Al mismo tiempo también parece asumirse que sólo actuando en los últimos cursos de enseñanza secundaria hay alguna posibilidad, a medio plazo, de invertir la tendencia y orientar a un número creciente de estudiantes hacia los estudios de Química.

Esta reflexión es la que nos hemos hecho en la Facultad de Química de la Universidad de Alcalá (U.A.H.), asumiendo que lo que hasta hace algunos años -la difusión de la Química en nuestro entorno- era recomendable, ha devenido en necesidad, contemplando este tipo de actividades como una prioridad a la que deben destinarse medios materiales y en la que deben implicarse profesores, dedicando un esfuerzo a la divulgación que hasta hace poco tiempo se consideraba innecesario.

En este contexto, el Decanato de la Facultad de Química de Alcalá inicia en el curso 2001-2002 una campaña de divulgación de la Licenciatura entre los Institutos y Colegios de enseñanza secundaria, instalados en la zona geográfica de influencia de la UAH. Dentro de esta campaña se participa en la Semana de Madrid por la Ciencia diseñando un programa de actividades para estudiantes de 4º de E.S.O. y Bachillerato, que se realizan en las dependencias y laboratorios docentes de la Facultad. La actividad principal se centra en la visualización y participación, en grupos de 15-20 estudiantes, en demostraciones realizadas por profesores y estudiantes de la Facultad. Las experiencias se agrupan en varias áreas temáticas con las denominaciones siguientes:

1. Estados de la Materia.
2. Energía de las reacciones Químicas.
3. Electrones que van y vienen.
4. La Química y los Sentidos.
5. Química Cotidiana.

Tomando como lema el pensamiento atribuido a Confucio: *“me lo contaron y lo olvidé, lo vi y lo entendí, lo hice y lo aprendí”* la experiencia sobrepasó todas las expectativas de participación de estudiantes, hasta el punto que hubo de repetirse en varios días posteriores para atender la demanda de los Centros que se interesaron en asistir a la Facultad.

## ENFOQUE DE QUÍMICA COTIDIANA EN EL ANUARIO LATINOAMERICANO DE EDUCACIÓN QUÍMICA

*Carlos Mauricio Castro Acuña*<sup>1</sup>, *José Miguel Abraham*<sup>2</sup>, *Paul B. Kelter*<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México  
04510-México D.F. castroa@servidor.unam.mx

<sup>2</sup>Departamento de Química, Bioquímica y Farmacia  
Universidad Nacional de de San Luis, San Luis, Argentina

<sup>3</sup>Department of Chemistry and Biochemistry  
University of North Carolina-Greensboro, U.S.A.

*El Anuario Latinoamericano de Educación Química (ALDEQ) cumple en 2003 quince años de publicación. Desde sus inicios se ha regido por el lema “La comunicación: un aporte a la integración” y uno de sus principales objetivos ha sido servir como medio de difusión para que muchos docentes de Latinoamérica, y otras áreas de nuestro planeta, intercambien ideas y experiencias y publiquen contribuciones donde la enseñanza de la Química esté enfocada no sólo a las aplicaciones cotidianas de esta ciencia, sino también a contribuir para resolver problemas específicos de las comunidades en las que se ubican las instituciones educativas.*

### 1. INTRODUCCIÓN

El Anuario Latinoamericano de Educación Química (ALDEQ) surge en 1988 como un medio para fomentar la comunicación y el intercambio de ideas entre académicos de los países latinoamericanos y, desde su mismo origen, impulsa la enseñanza de la Química como una actividad que debe estar fuertemente ligada al entorno en el que se lleva a cabo.

Ante el gran empuje de las publicaciones en inglés, si bien el ALDEQ acepta artículos en otros idiomas, promueve decididamente el uso del castellano: “También deseamos pensar en la lengua de Cervantes, la cual no es impropia para expresar el conocimiento científico, sino que tiene toda la riqueza para darlo a conocer; de ahí nuestro convencimiento al pensar en esta obra, como un granito de arena, que más allá de difundir la verdad científico-educativa, contribuye a defender lo más valioso que tienen los pueblos para entenderse : su lenguaje” (1).

Otro de los principales objetivos de ALDEQ es difundir estrategias didácticas que se ubiquen en la realidad, generalmente llena de carencias, de los docentes y de los estudiantes en Latinoamérica.

## 2. PROYECTOS INTEGRALES DE EDUCACIÓN QUÍMICA

Acorde a una filosofía de utilizar la enseñanza de la Química para mejorar las condiciones de vida de la sociedad, el ALDEQ es también el órgano oficial de difusión de los logros obtenidos a través de los PIEQ ( Proyectos Integrales de Educación Química ) (2). La propuesta de creación de los PIEQ se debe a la situación de la enseñanza en muchos países latinoamericanos que se caracteriza, por ejemplo por:

- Falta de medios y recursos para garantizar una excelente formación de los estudiantes.
- Infraestructuras inadecuadas que obstaculizan e incluso a veces se oponen al empleo de metodologías modernas.
- Imposibilidad de acceder a centros de actualización y perfeccionamiento, tanto para los aspectos metodológicos como para los científicos.
- Escasa comunicación entre los centros dedicados al mejoramiento de la enseñanza de las ciencias en los países de Latinoamérica.

Al iniciar el siglo XXI, podemos percibir que también en la educación se va abriendo una enorme brecha a nivel mundial. Mientras en algunas regiones una minoría de estudiantes privilegiados ya cuentan con programas informáticos que les muestran las moléculas en forma tridimensional, en otros países miles de jóvenes están esperando a que, por lo menos, su profesor de Química asista a impartir su cátedra.

Ya en 1988 planteábamos que el propósito fundamental del profesor de Ciencia es potenciar y canalizar el interés de los jóvenes por temas científicos y tecnológicos, tratando de que dichos jóvenes manifiesten sus capacidades de hacer, decir y, sobre todo, decidir. El logro de actitudes creativas, por parte de nuestros estudiantes, no se alcanza por el simple hecho de aplicar programas y planes modernos que, aunque valiosos y basados en una filosofía de la indagación, no aseguran por sí solos el desarrollo de la creatividad ni garantizan el uso de los recursos propios de la comunidad (3).

Uno de los autores de este trabajo (Abraham) y sus colaboradores han tenido la oportunidad de organizar ferias de ciencias con el lema “Participar, no competir” y con una filosofía diferente a otros certámenes que fomentan la competitividad. Muchas ferias de ciencias tienen un carácter de simple exposición con un “premio” a los mejores trabajos. Estas ferias son poco visitadas y la participación de los estudiantes se debe a que los profesores los obligan a hacerlo. Para lograr un verdadero efecto en la comunidad, nosotros proponemos que las ferias de ciencias deben contar con la participación de todos los interesados: estudiantes, profesores, autoridades y, muy especialmente, los padres de familia.

A través de varios años de investigación aplicada, los PIEQ han dado lugar a los Proyectos Educativos Integrales (PEI). Por definición, un PEI “es un espacio que permite, desde la perspectiva de la educación, la vinculación de ciertos aspectos de la

investigación básica con la investigación aplicada y aquella que el docente debe realizar sobre su propia práctica con el propósito de resolver situaciones concretas a nivel áulico y/o comunitario” (3).

Es imposible en este trabajo describir toda la filosofía de los PEI, sin embargo deseamos destacar que estos proyectos buscan siempre privilegiar la investigación dirigida a favorecer a la mayor cantidad posible de personas, esto es, dar una gran importancia a la dimensión humana.

La estrategia PEI no está diseñada para confrontarla con otras formas tradicionales o convencionales de llevar a cabo una investigación. Lo que pretende es tomar todos los componentes valiosos de estas investigaciones dándole mayor peso a su efecto en la sociedad y menor importancia a su medio de publicación.

### **3. PROYECTO CUIDEMOS NUESTRO MUNDO**

Cuando estamos enfocados a lograr que la enseñanza de la Química resulte realmente útil para que los estudiantes mejoren su calidad de vida y contribuyan a crear una sociedad más capacitada y más justa, llegamos en forma natural a los temas de Ecología y Medio Ambiente.

En 1988, prácticamente en forma conjunta al surgimiento de ALDEQ, se inicia el Proyecto Cuidemos Nuestro Mundo (CNM), cuyo lema es “ De la educación recibida, el hombre podrá ser causa de su destrucción o de su esperanza”. Los proyectos CNM están destinados a resolver problemas específicos de las comunidades y buscan que los profesores de ciencias se conviertan en líderes de acciones que involucren a todos los miembros de la sociedad. La enseñanza de la Química se vincula definitivamente con la de la Biología y la Ecología, para dar a los estudiantes una visión global de cómo el buen o mal uso de los productos químicos determina las condiciones de vida en una comunidad. En 1993, ALDEQ se convierte también en el órgano oficial de difusión de CNM.

### **4. LA QUÍMICA EN NUESTRA VIDA COTIDIANA: DIFERENCIAS Y SIMILITUDES EN TRES PAISES**

Para ampliar sus horizontes, desde hace varios años ALDEQ cuenta con la colaboración de investigadores educativos que trabajan en países fuera del área latinoamericana. Esto nos ha permitido, contar con la información necesaria para contrastar nuestra situación educativa en general, con la que existe en países considerados como de mayor desarrollo, particularmente con los Estados Unidos de América (EUA). La gran influencia que esta nación ejerce sobre Latinoamérica y por otra parte el tremendo crecimiento de la población de origen hispano en ese país han contribuido a nuestro interés en mantener un contacto con investigadores estadounidenses quienes, a su vez, han reconocido la importancia de conocer lo que está sucediendo fuera de sus fronteras.

A través de la colaboración desarrollada en los últimos seis años, nuestros proyectos de investigación educativa nos han llevado a concluir que la enseñanza de la Química en los EUA, es tan diferente de un Estado a otro, como puede serlo entre México y España o entre México y Argentina. Así como reconocemos grandes carencias en muchas poblaciones latinoamericanas, también el nivel educativo en los EUA es muy heterogéneo y está íntimamente ligado a la capacidad económica de las diferentes comunidades. Las zonas de mayor pobreza también tienen una educación pobre y el aparente desarrollo que percibimos desde fuera es muchas veces un espejismo.

En la Facultad de Química de la UNAM enfrentamos graves problemas al impartir los primeros cursos de Química General debido principalmente a que los estudiantes traen una preparación deficiente del bachillerato. Es interesante notar que la situación es casi igual en la Universidad de Nebraska-Lincoln (4).

En un estudio llevado a cabo en el período 2000-2001 (5), encontramos, entre otros factores que afectan a la enseñanza de la Química, tanto en México, como en Argentina o los EUA, tres puntos que deseamos comentar en más detalle en este trabajo: el número de alumnos en cada grupo, la supremacía de la investigación frente a la docencia y la importancia de la enseñanza experimental.

En la Facultad de Química de la UNAM, en 1971, se intentó dar clases a grupos de 150 alumnos. El experimento resultó fallido y al poco tiempo se desechó este sistema. Actualmente los cursos de Química General no tienen más de 50 estudiantes y en el laboratorio los grupos son aún más reducidos. En contraste, en muchas universidades de los EUA las clases de Química General se dan a grupos muy numerosos de alumnos. Es nuestra opinión que esto no es aceptable desde un punto de vista didáctico y que debe rechazarse el modelo largamente aceptado que establece que es correcto, o al menos necesario, comprimir a los estudiantes de primer año en grandes auditorios. Trabajar con grupos muy numerosos está en conflicto directo con uno de los principios fundamentales de la enseñanza, que es conocer a cada estudiante para poder evaluar adecuadamente lo que entiende y desea saber. Debemos poder interactuar con nuestros alumnos dentro del aula y, si es necesario, en nuestros despachos o por correo electrónico. Cualquier sistema en el que, después de seis semanas de clases no conoces a tus estudiantes, necesita cambiarse. Para un profesor es vital conocer realmente a sus alumnos y esto no es posible en un grupo muy numeroso (6).

En lo que respecta al tiempo dedicado para investigación y para docencia, entre los profesores universitarios en general, tanto en México como en Argentina, se estimula la comunicación escrita por medio de uno o dos artículos por año publicados en una revista con "alto índice de impacto" lo que prácticamente obliga a que la publicación se haga en inglés. Sin embargo, la vital comunicación entre profesores y alumnos está relegada a un segundo plano y a veces ni siquiera se le considera importante. De igual manera, no se favorece el intercambio de ideas entre los mismos académicos, lo que suele dar como resultado que cada profesor sea el dueño absoluto

de su cátedra y no se establezcan objetivos comunes ni siquiera entre profesores que están desarrollando el mismo curso.

Nosotros opinamos que una investigación que logra una mejoría para la sociedad es de mucho mayor impacto que una publicación en una revista prestigiosa que es leída por unos cuantos. Incluso consideramos más valioso generar un buen conjunto de notas y apuntes que beneficien a cientos de estudiantes.

El prestigio de una institución educativa debe evaluarse por la buena formación que obtienen los estudiantes que egresan de ella. Sin embargo, cómo esto resulta difícil de medir, en ocasiones se pretende basar la excelencia en el número de artículos que sus académicos publican. Por esta razón, algunos académicos consideran que es más valioso escribir un artículo, que “perder” su valioso tiempo enseñando a un montón de estudiantes de primer año. Nosotros consideramos que en la mayoría de los países de Latino América, los académicos deben cumplir adecuadamente con su labor docente y contribuir a formar los recursos humanos que nuestras naciones requieren. Esto es precisamente vincular a la enseñanza con el beneficio social que debe aportar. Es claro que en todas las instituciones hay profesores que son buenos investigadores y además cumplen en forma entusiasta y acertada con su labor docente. Éste es un buen modelo a seguir y nuestra propuesta, en este caso, es que se fomenten las líneas de investigación enfocadas a resolver problemas de la comunidad en la que se encuentran. Que la relación entre la Química y la vida diaria pase de ser un comentario en el aula para convertirse en una realidad tangible para los estudiantes (7).

Finalmente, deseamos hacer un comentario respecto a la importancia de los laboratorios. El desarrollo de experimentos es fundamental para establecer un vínculo entre la Química y los fenómenos que observamos en nuestra vida cotidiana. En alguna ocasión, en la Facultad de Química de la UNAM, se ha propuesto que la enseñanza experimental se ponga en manos de los estudiantes de postgrado, reforzando así la idea de que los profesores de laboratorio pueden ser simples ayudantes con poca o ninguna experiencia docente. Sabemos que en muchas universidades de los Estados Unidos de América sucede algo similar, ya que es común que a los estudiantes extranjeros se les contrate como profesores asistentes de laboratorio, cuando en ocasiones todavía no dominan el idioma inglés y mucho menos cuentan con experiencia didáctica. También en muchos países se observa el peligro de una tendencia a reducir las horas que los estudiantes deben pasar en el laboratorio, lo que generalmente se basa en una estrategia para ahorrar dinero en equipo y reactivos, sacrificando las valiosas habilidades que los estudiantes adquieren al realizar experimentos.

## **5. CONCLUSIONES**

Nosotros afirmamos que los académicos de más prestigio y los mejores docentes son precisamente los que deben estar a cargo de los cursos en los primeros semestres y que estos grupos no deben ser numerosos. Así mismo, son los profesores

más capacitados los que deben tener un papel muy activo en la enseñanza experimental ya que ésta es la base de una buena formación en el área científica.

En estos momentos, es prioritaria la formación de recursos humanos y debemos dar una gran importancia a la docencia. Tal vez podamos darnos el lujo de tener unos cuantos magníficos investigadores que sean profesores apenas regulares, pero esto debe ser la excepción; nuestras universidades requieren de magníficos docentes y para esto debemos lograr que esta actividad sea justamente evaluada.

Los miembros del Comité Editorial del ALDEQ invitamos a toda la comunidad académica a expresar sus opiniones en este medio y contribuir así a una mejor comprensión de cómo la Química, cuando se estudia y se investiga dentro de una dimensión humana, se convierte en una gran herramienta para contribuir a que todos vivamos en un mundo mejor.

## REFERENCIAS

1. J. M. Abraham, *ALDEQ*, **1988**, Vol. 1, prólogo.
2. J. M. Abraham, M. L. Azar, C. Elorza, *ALDEQ*, **1988**, Vol. 1, 91.
3. J. M. Abraham, M. L. Azar, R.F. Segovia, *ALDEQ*, **2002**, Vol. 15, 207.
4. J. Niemoth-Andersen, G.A. Carson, D. Dormedy, C. Emal., E.J. Haas, T.L. Johnson, J. Mazlo, T.M. Urlacher, P.B. Kelter, M. Llano, G. Müller, R. Domínguez, C.M. Castro-Acuña, *ALDEQ*, **1998**, Vol. 10, 185.
5. P.B. Kelter ( Marie Foscoe Rourk Professor ), C. M. Castro Acuña, *ALDEQ*, **2001**, Vol. 13, 153.
6. M.B. Rowe (editora), *The process of knowing*, NSTA, U.S.A. (1990)
7. M. R. Jiménez Liso, M. A. Sánchez Guadix, E. y de Manuel Torres, *Educación Química*, **2002**, Vol. 13 (4), 259.

## MANIFESTACIONES QUÍMICAS EN ENTORNOS COTIDIANOS

*M<sup>a</sup>. Antonia Dosal<sup>1</sup>, Víctor M. Feregrino<sup>2</sup>, Laura R. Ortiz<sup>2</sup>,  
J. Clemente Reza<sup>2</sup>, José Luis Córdova<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México  
dosala@servidor.unam.mx

<sup>2</sup> Escuela Superior de Ingeniería Química, Instituto Politécnico Nacional, México

<sup>3</sup> División de Ciencias Básicas e Ingeniería  
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México

*Se presenta un proyecto de actividades didácticas extracurriculares para apoyar el proceso de enseñanza-aprendizaje, en las que los alumnos deben relacionar su cotidianidad con los conocimientos adquiridos en clase y acercarse a la información técnica que complementa su visión de la Ciencia. Los resultados del proyecto, probados y evaluados con estudiantes del curso de Química General de la ESQIE del Instituto Politécnico Nacional, muestran que estas actividades refuerzan el aprendizaje de los contenidos curriculares de la asignatura y aumentan el interés de los alumnos al percatarse de la importancia de esta Ciencia en el avance tecnológico.*

### 1. INTRODUCCIÓN

Los planes y programas de estudio de los niveles de bachillerato (o equivalente) y licenciatura que se ofrecen en México, se estructuran en colaboración con agrupaciones profesionales, gremiales y representantes de la industria, relacionados todos ellos con las carreras que se ofrecen en cada Escuela y con el consenso de las correspondientes Academias, las cuales, a partir de su experiencia y criterio organizan los contenidos de cada asignatura, bajo el modelo educativo institucional vigente.

La vinculación académica entre miembros de importantes instituciones educativas nacionales y extranjeras ha permitido vislumbrar las ventajas del desarrollo de los programas de estudio de las Ciencias Básicas bajo el enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad (C.T.S.), por considerarse una opción integradora de los conocimientos adquiridos en los diferentes niveles de estudio y que promueve el desarrollo de habilidades del pensamiento.

El Departamento de Ciencias Básicas (DCB) de la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas (ESIQIE) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), atiende a la población de nuevo ingreso, interesada en cursar las carreras de Ingeniería Química Industrial, Ingeniería Química Petrolera e Ingeniería Metalúrgica. En los dos últimos años, los profesores de la Academia de Química

General han diseñado actividades didácticas que apoyan al Proceso de enseñanza-aprendizaje (PEA, incluida la evaluación); esto es, que permiten que los alumnos conozcan y compartan el lado agradable de la Química y otras ramas de la Ciencia así como el desarrollo de habilidades para el aprendizaje.

Cabe mencionar que los profesores de la asignatura de Química, impartida en el nivel medio superior de esta misma Institución, plantean el enfoque C.T.S. a través de los ejemplos utilizados en el PEA; así por ejemplo, se mencionan aspectos de medio ambiente, desarrollo tecnológico, etc., sin embargo, aún no existe el consenso sobre la presentación del nuevo enfoque, debido a la estructura institucional.

## 2. DESARROLLO

En este proyecto, el enfoque C.T.S. se logra gracias a actividades extracurriculares en las que se solicita al alumno relacionar su cotidianidad con los conocimientos adquiridos en clase o el acercamiento a la información técnica que complementa su visión de la Ciencia; cabe mencionar que los contenidos curriculares no disminuyen, por el contrario, se refuerzan.

Para ello se seleccionan aquellos temas del curso que los alumnos puedan abordar con una orientación oportuna por parte de sus profesores, considerando la disponibilidad de tiempo, recursos y espacio de los estudiantes. En una segunda etapa, se selecciona o diseña el tipo de actividad que deberán realizar los alumnos y la forma en que se hará la presentación de resultados. En la tercera etapa los estudiantes llevan a cabo la presentación del material en forma no tradicional (para incluir el factor creatividad), se desarrolla la discusión sobre las ideas centrales y, en la cuarta y última etapa, se retroalimentan los resultados al grupo.

A continuación, se presentan algunos ejemplos de las actividades extraclase desarrolladas en relación con el curso de Química General del DCB-ESIQIE:

**Actividad 1:** Búsqueda en ambientes virtuales de las biografías breves de los científicos más ligados al desarrollo de la teoría atómica actual.

**Objetivo:** Identificar el contexto histórico-social del trabajo de los principales contribuyentes a la construcción de la teoría atómica actual.

**Tiempo de realización:** 15 días.

**Forma de presentación:** Sesión de carteles con duración de 90 minutos.

**Tiempo de presentación:** Máximo 10 minutos por equipo.

**Objeto de la discusión:** El papel de los avances tecnológicos en el desarrollo de un descubrimiento o en el planteamiento y validación de una teoría.

**Resultados:** Cuando este tema se presenta en la forma tradicional es usual mencionar alrededor de ocho científicos; sin embargo, con esta modalidad, los alumnos identifican a más de 50, cuyas aportaciones han sido minimizadas. Esta identificación favorece:

- la valoración del trabajo científico,

- la relación de este trabajo con las demandas de la sociedad, y
- el papel que juega la tecnología como detonante de nuevas investigaciones.

En breve, esta modalidad permite al estudiante considerar a la Ciencia como un cuerpo de conocimientos no acabado, sino en continua evolución y resalta la importancia de la interdisciplinariedad. Por otro lado, es una excelente oportunidad para mostrar la faceta humana del científico, los errores que comete y las aproximaciones que realiza en cada planteamiento.

**Actividad 2:** Búsqueda en diferentes fuentes de información de las propiedades físicas y químicas de los elementos y de sus compuestos más usuales.

*Objetivo:* Identificar las fuentes de información más completas para realizar un estudio descriptivo de un grupo de elementos de la tabla periódica.

*Tiempo de realización:* 15 días.

*Forma de presentación:* vídeo VHS de un noticiario, revista, catálogo o periódico elaborados con la información obtenida.

*Tiempo de presentación:* 15-20 minutos.

*Objeto de la discusión:* Usos cotidianos y aplicaciones tecnológicas de los elementos de la tabla periódica y sus compuestos más comunes.

*Resultados:* La forma de presentación del material permite al estudiante hacer un esfuerzo para sintetizar la información recabada. En el caso de los videos, los alumnos ponen en juego sus dotes histriónicas, descubren la imagen que proyectan y la manera en que se comunican, de tal suerte que son capaces de corregir algunos vicios de lenguaje y dicción; además ayudan a disminuir el temor a hablar en público. Por si esto fuera poco, las discusiones posteriores a las presentaciones, permiten destacar la importancia del desarrollo de nuevos materiales, bajo el enfoque de la conservación del medio ambiente y el uso racional de la energía.

**Actividad 3:** Ejemplificación de mezclas y diluciones con soluciones de uso cotidiano.

*Objetivo:* Detectar y cuantificar el grado de "eficiencia" de la sustancia activa de un producto comercial en función de su concentración.

*Tiempo de realización:* 7 días.

*Forma de presentación:* Experiencia de cátedra e informe técnico.

*Tiempo de presentación:* Máximo 10 minutos por equipo.

*Objeto de la discusión:* Superar la barrera imaginaria de la aplicación de los principios teóricos a situaciones cotidianas.

*Resultados:* Permite a los alumnos, ampliar su visión sobre las sustancias químicas (en particular de las mezclas y soluciones) y el papel que representan en su vida cotidiana. La realización de mezclas y diluciones con las sustancias de su elección (líquidos para limpieza, blanqueadores, refrescos, etc.) y la cuantificación de las variaciones de la concentración en cada caso, les permitieron identificar los límites

de utilización eficiente de dichas soluciones y, lo más importante, vencer la barrera auto impuesta para la aplicación de los conocimientos, técnicas y algoritmos de cálculo adquiridos en el aula, a situaciones de la vida diaria. Del mismo modo, sirve para descartar algunas recomendaciones populares como "cuanto más (sustancia) use, funciona mejor".

**Actividad 4:** Experimentación con sustancias de uso cotidiano cuya mezcla conlleva una reacción química.

*Objetivo:* Identificación del tipo de reacción involucrada en el consumo de algunas sustancias comestibles de uso común en la vida diaria de los estudiantes.

*Tiempo de realización:* 5 días.

*Forma de presentación:* Demostración experimental e informe técnico.

*Tiempo de presentación:* Máximo 10 minutos por equipo.

*Objeto de la discusión:* Identificar el carácter ácido-base de sustancias comestibles.

*Resultados:* La limpieza de objetos metálicos con salsa picante "Valentina" (marca muy popular, consumida con frecuencia en México), manifiesta la presencia de reacciones entre la capa de impurezas del objeto y el principio ácido de la salsa comercial. La limpieza de una llave de bronce o de una moneda de cobre es más efectiva con la salsa que con jugo de limón o agua jabonosa. En otra experiencia, se realizan "titulaciones ácido-base" de muestras de la salsa concentrada y diluida con la suspensión comercial antiácida conocida como "Melox" de  $\text{Al}(\text{OH})_3$  y  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  e indicador fenolftaleína. Los resultados obtenidos revelan el carácter fuertemente ácido de la salsa Valentina "normal" (existen dos grados más altos de picante), lo cual invita a reflexionar acerca de los hábitos alimenticios.

### 3. CONSIDERACIONES DIDÁCTICAS

Este tipo de actividades permite que los alumnos se percaten de que la Ciencia tiene como objetivo satisfacer las demandas de la sociedad, apoyada por el avance tecnológico y que, si desean participar en el mismo, deberán prepararse en forma integral, desarrollar habilidades para el autoaprendizaje, manifestar actitudes de solidaridad hacia la sociedad e integrarse a equipos multidisciplinares para la resolución de problemas.

Debido al bajo estrés involucrado en las presentaciones y discusiones de los productos de sus investigaciones, este tipo de actividades permite que los alumnos cambien su actitud de rechazo hacia el estudio de la Química; así se constató en los resultados de las evaluaciones.

El trabajo docente en el DCB-ESIQIE bajo el enfoque C.T.S., no ha tenido la debida difusión para interesar al resto de los profesores a conocerlo e incorporarse a él. Sin embargo, conscientes de la importancia de esta corriente, hemos establecido un canal de comunicación con los profesores de Química del nivel medio superior de

diversas instituciones con el propósito de que el PEA resulte más gratificante para los actores y al mismo tiempo, no desperdiciar la etapa (biológica, psicológica) en la vida de los alumnos para conservar su interés en el estudio de la Ciencia. Para apoyar lo anterior, es necesario que el docente realice un cambio de actitud frente a su trabajo y se actualice en técnicas de enseñanza y en sus concepciones teóricas.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. J.C. Reza, A.E. Domínguez, L.R. Ortiz, *Habilidades del ingeniero. Acciones en la ESIQIE*, Ponencia presentada en la Conferencia de la Asociación Nacional de Facultades y Escuelas de Ingeniería (ANFEI) (1999).
2. J.C. Reza, A.E. Domínguez, L.R. Ortiz, *Programa para el desarrollo extra curricular de habilidades*, Ponencia presentada en la Conferencia de la Asociación Nacional de Facultades y Escuelas de Ingeniería (ANFEI) (1999).
3. A. Vilchis, Seminario "*Relaciones C.T.S. y la Educación Científica*" impartido en la Facultad de Química, UNAM, marzo de 2000.



# UM EXEMPLO DO TRATAMENTO DO TEMA ÁCIDO-BASE CENTRADO NA INTERACÇÃO CIÊNCIA-TECNOLOGIA- SOCIEDADE E NA RESOLUÇÃO DE SITUAÇÕES PROBLEMÁTICAS<sup>3</sup>

*Maria de Fátima Paixão*

Escola Superior de Educação, Instituto Politécnico de Castelo Branco, R Faria  
Vasconcelos, 6000-266 Castelo Branco, Portugal. fatimapaixao@ese.ipcb.pt

*A Química, enquanto disciplina escolar, pode contribuir para uma melhor compreensão da vida quotidiana se, cada vez mais, se promover o estudo de problemas reais nas interfaces da Ciência, Tecnologia e Sociedade. Deste modo, a proposta de abordagem didáctica do tema ácido-base que se apresenta parte de uma situação problemática de interesse social associado à região onde se situa a escola e desenvolve-se implicando os alunos em pesquisa e em trabalho experimental com orientações pós-positivistas sobre a natureza da ciência. A proposta foi aplicada em sala de aula e professora e alunos consideram-na interessante.*

## 1. INTRODUÇÃO

A pertinência da inclusão da Química no currículo do ensino obrigatório sustenta-se nas orientações para o ensino das ciências em que sobressai a importância de uma formação científica do cidadão comum para a compreensão da vida quotidiana. As actuais orientações para o ensino da Química seguem as perspectivas relevadas pela célebre tríade de Hodson (1), e que outros autores também corroboram ou desenvolvem (2), no âmbito de um quadro pós-positivista da visão da ciência: aprender ciência (que significa adquirir conhecimento conceptual e teórico), aprender sobre ciência (desenvolver a compreensão da sua natureza e métodos e as complexas interrelações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade CTS) e fazer ciência (envolver-se e desenvolver habilidades na investigação e resolução de problemas). Aliás, um dos aspectos essenciais para que apontam algumas propostas relativamente ao ensino da Química é o de ajudar os alunos a compreenderem o papel e o significado da ciência nas sociedades modernas e, em particular, promover o estudo de problemas reais nas interfaces Ciência/Tecnologia/Sociedade. Tal aspecto aponta para que se desenvolvam os conteúdos com a preocupação de que respondam a questões centrais, despoletadas por assuntos da actualidade ou relacionados com a vida quotidiana. Esta abordagem é tanto mais significativa se pensarmos nas turmas em concreto, de alunos inseridos nos seus meios e a perspectiva e preocupação se situarem na intenção de contribuir para a

---

<sup>3</sup> Se ha mantenido este trabajo en lengua portuguesa, por entender que es fácilmente comprensible para el lector en español con conocimientos del tema.

formação de cidadãos cultos, críticos e intervenientes na sociedade. O maior problema actual na escola é a falta de interesse e a desmotivação profunda de um grande número de alunos. Só o ensino contextualizado e apoiado na resolução desafiadora de problemas pode dar um contributo para a literacia científica e tecnológica.

São, portanto, de considerar as orientações do movimento CTS (3,4,5) que considera o tratamento de situações problemáticas relevantes e interessantes, capazes de favorecer e incentivar uma atitude de pesquisa nos alunos, e no sentido de serem um contributo para os preparar para uma cidadania mais atenta, capazes de assumir responsabilidades sociais e tomar decisões científica e tecnologicamente informadas.

Para ser uma alternativa viável ao ensino tradicional da Química, a perspectiva CTS deve ser capaz de encontrar necessidades e interesses locais num quadro global de referência e serem suficientemente flexíveis para se ajustarem às circunstâncias em mudança (6). Utilizar as perspectivas CTS, desenvolvidas numa abordagem problemática, actual e com contexto relevante pode ajudar a desenvolver e aprofundar os conceitos e a mudar as atitudes perante a ciência e o conhecimento científico. Como refere Cachapuz (7) "esta parece ser uma via promissora em termos de maior motivação intrínseca dos alunos, de melhor preparação destes para darem uma resposta mais adequada e socialmente mais correcta aos problemas científico-tecnológicos e ambientais do mundo". Deste modo, defende-se uma nova orientação para o trabalho experimental e para a resolução de problemas (8, 9, 10), actividades estas que são agora vistas como instrumentos de mudança epistemológica e metodológica que tem que acompanhar a mudança conceptual.

Algumas vias facilitadoras da introdução de tal perspectiva no ensino apontam para inclusões deste enfoque, mesmo que pontuais, ao longo do currículo. Consideramos que a proposta que apresentamos se insere nessa via, que não sendo de ruptura frontal com modelos tradicionais representa um desafio relativamente ao que é habitual nas aulas de Química e abre caminhos a propostas mais arrojadas.

## **2. ENQUADRAMENTO DA PROPOSTA NAS ORIENTAÇÕES CURRICULARES**

O trabalho que se apresenta resumidamente foi desenvolvido no âmbito do módulo de Didáctica Específica da Física e da Química do Curso de Formação em Serviço para Professores (11). A planificação foi posta em prática por uma das professoras participantes no Curso. Com ela se pretende introduzir o estudo do assunto Ácidos e Bases, no 8º ano de escolaridade<sup>4</sup>.

Existem em Portugal recentes orientações curriculares oficiais para o ensino básico, sendo que as Ciências Físicas e Naturais constituem um bloco com orientações particulares no sentido do desenvolvimento de competências específicas, integradas,

---

<sup>4</sup> Em Portugal a contagem da escolaridade faz-se sequencialmente, com início aos seis anos de idade. Contudo, no ensino básico e obrigatório, está dividida em três ciclos de 4 anos, 2 anos e 3 anos. Segue-se o ensino secundário, não obrigatório, com três anos. Os alunos do 8º ano de escolaridade têm 13-14 anos.

contudo, num conjunto de competências gerais para o 3º Ciclo. Ao mesmo tempo, as orientações curriculares salientam a importância da exploração dos temas numa perspectiva interdisciplinar, em que a interacção Ciência - Tecnologia - Sociedade - Ambiente (CTSA) constitui uma vertente integradora e globalizante da organização da aquisição dos saberes científicos (Figura 1 (12)).

O assunto escolhido, Ácidos e Bases, insere-se no tópico Reacções Químicas, do tema "sustentabilidade na terra". O tema envolve as componentes científica, tecnológica e social, e pretende-se que os alunos tomem consciência da importância de actuar ao nível do sistema terra, de forma a não causar desequilíbrios, contribuindo para uma gestão regrada dos recursos existentes.

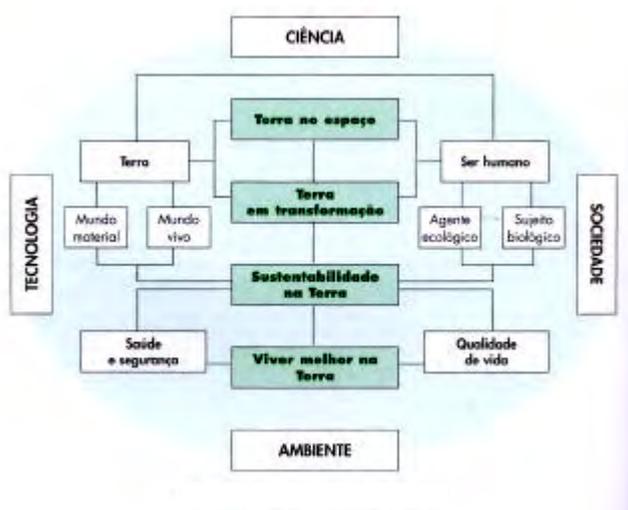


Figura 1. Esquema organizador dos quatro temas.

Valorizam-se as aprendizagens activas e contextualizadas, feitas numa perspectiva global e interdisciplinar, no sentido do desenvolvimento de competências de pesquisa, de comunicação, de tomada de decisões, de forma a que contribuam para um futuro sustentado, a par das aquisições conceptuais (12).

Ao planificar tem-se em mente promover o desenvolvimento de algumas competências gerais adoptando, para tal, estratégias conducentes à sua operacionalização através das experiências/actividades didácticas propostas aos alunos. Os conteúdos seleccionados para a abordagem deste tema são: Comportamento de soluções ácidas, básicas e neutras; Indicadores químicos e escala de pH; Reacções de neutralização. A partir do esquema organizador do tema a que pertence este assunto facilmente se percebe que as competências essenciais a atingir implicam a compreensão destas noções, associadas: - ao reconhecimento das implicações do progresso científico e tecnológico na rentabilização dos recursos; - ao reconhecimento

de que a intervenção humana na exploração e transformação dos recursos, exige conhecimento científico e tecnológico; - à tomada de decisão face a assuntos que preocupam as sociedades, tendo em conta factores ambientais, económicos e sociais.

### 3. A ABORDAGEM ESCOLHIDA

É no âmbito do quadro apresentado que o assunto que seleccionámos se desenvolve propondo aos alunos uma pequena pesquisa centrada numa situação concreta, com impacto social evidente na região em que habitam e mesmo envolvendo situações familiares, recorrendo a diversas estratégias, com destaque para o Trabalho Experimental envolvendo diversas modalidades (demonstração e planeamento pelos alunos). Deste modo o trabalho experimental está virado para a resolução de um problema interessante mas, particularmente, contextualizado. A resolução desse problema envolvendo trabalho experimental e Trabalho de Campo será equacionado segundo um modelo citado em Praia e Coelho (13) envolvendo alguns passos que se iniciam com o reconhecimento do problema, decisão sobre o que medir, projecto/planificação experimental, realização da experiência, recolha de dados, interpretação dos dados, avaliação de resultados e métodos, até ao encontro/apresentação da solução do problema.

A sequência didáctica:



**Figura 2.**



**Figura 3.**

Aproveitando o facto de a região em que se insere a escola em que foi aplicada a proposta de planificação ser bem conhecida pela sua produção de cereja (Figuras 2 e 3) e de haver uma relação estreita entre a produção agrícola e o pH dos solos (texto em anexo), uma questão-problema condutora da sequência de ensino pode ser colocada da seguinte forma: "Será que o pH do solo do quintal da minha casa é adequado para produzir cerejas?".

Pretende-se que os alunos partam da análise deste problema concreto e relacionado com as suas vivências próximas para a compreensão de conceitos da unidade didáctica, que se prevê necessite de 7 aulas. Uma tal proposta integra visões

de vários saberes disciplinares, nomeadamente permite e incentiva uma partilha com a Língua Portuguesa (construção de artigos de jornal, comunicação oral de resultados e sua discussão) e com a Geografia (análise de condições para o desenvolvimento da agricultura e causas e impactos económicos e ambientais... ao mesmo tempo que considera as questões físicas do terreno na delimitação das áreas agrícolas privilegiadas para o cultivo de espécies particulares...). Na componente de Trabalho Experimental e na perspectiva de promover aprendizagens que possam responder de forma adequada às actuais e futuras competências de uso de recursos informáticos, privilegia-se a utilização de equipamento informático de aquisição e tratamento de dados, nomeadamente o sensor de pH.

#### 4. DESENVOLVIMENTO DA SEQUÊNCIA DE ENSINO

Inicia-se pela leitura e análise de um artigo extraído de um jornal regional/local, relativo à importância económica das cerejas, para a região (Figura 4 - *in* Jornal do Fundão, 5 de Abril de 2002). Segue-se um debate.

Introduz-se a questão problema: “Se quiser produzir cerejas, será o solo do meu quintal adequado?”



Figura 4.

Faz-se a leitura e análise de um texto (anexo) sobre a importância da agricultura, as características adequadas do solo e o papel da Química na agricultura.

Destaque para as noções de pH, acidez, basicidade (que aparecem no texto referido anteriormente). Tais termos, no texto, criam a necessidade e o interesse de os alunos conhecerem os conceitos para poderem vir a dar resposta ao problema.

Seguem-se algumas aulas relativas à identificação /estudo das características de soluções ácidas e básicas do dia a dia, sobre informação sobre ácidos e bases usados no laboratório e realçando o papel da água no comportamento de ácidos e

bases, sobre indicadores e escalas de pH; é altura, por exemplo, para a referência a chuvas ácidas ou a questões relacionadas com a azia no estômago ou as cáries dentárias. Deve realçar-se a importância das reacções ácido-base em muitos domínios da vida diária - pode dar-se um texto ou algum filme e realizar actividades experimentais simples para determinação do comportamento químico de várias soluções e determinação do respectivo pH

É então altura de recolocar o problema de partida e dinamizar um debate na aula para definição de estratégias de resolução do problema, planificando o trabalho de campo e laboratorial, nomeadamente com definição de tarefas. Desse planeamento faz parte a preparação do trabalho de recolha das amostras de solo a analisar e dos contactos a realizar com agricultores da região para questões sobre o assunto. Além disso seleccionam-se e organizam-se os recursos e identificam-se as técnicas de análise a efectuar. Na aula seguinte preparam-se as amostras de solo recolhidas e realizam-se as actividades experimentais, nomeadamente a determinação do pH do solo com o sensor. A organização dos dados é um aspecto que deve ser realçado, o que implica o registo cuidadoso dos dados. Com os diferentes resultados obtidos pelos diversos grupos de trabalho, a partir de amostras de solo provenientes de locais diferentes, pode ser traçado no mapa da região (em escala adequada) as previsíveis zonas de melhor produção de cerejeira. Divulgação dos resultados e discussão final, confrontando os dados com a realidade local.

Novos problemas podem, na sequência, ser colocados: Supondo que o pH dos solos não é adequado para o fim pretendido, que alterações podem ser realizadas? Uma tal questão faz a ligação com as reacções ácido base que dão sequência lógica ao assunto tratado e que implicam muito directamente a Química na solução de problemas da agricultura e do ambiente.

Um tipo de proposta como a que é apresentada impõe que se encare a avaliação dos alunos numa perspectiva integrada com o ensino.

## **5. A APLICAÇÃO DA PLANIFICAÇÃO**

A planificação, aqui apresentada em traços muito gerais e realçando particularmente os aspectos que se prendem mais directamente com a procura da resposta à questão-problema inicialmente colocada, foi posta em prática numa turma de 8ºano e a sua aplicação decorreu de acordo com o previsto, com apenas alguns reajustes pouco relevantes, nomeadamente no que diz respeito ao tempo. Nas fotos seguintes (Figuras 5 e 6) mostram-se algumas situações dos alunos no decorrer das actividades desenvolvidas.

## **6. ANÁLISE E REFLEXÃO SOBRE O DESENVOLVIMENTO DA PROPOSTA DIDÁCTICA**

Os alunos que participaram na proposta apresentada fizeram as suas reflexões

sobre as actividades desenvolvidas e referiram alguns aspectos: "adquirimos a noção de prática e de pesquisa"; "aprendemos coisas novas"; "ficamos a saber informações importantes do dia a dia"; "a professora depositou confiança em nós"; "nós a realizar experiências ficamos a saber mais, pois torna-se mais fácil compreender"; "pudemos fazer autonomamente o trabalho".



Figura 5.

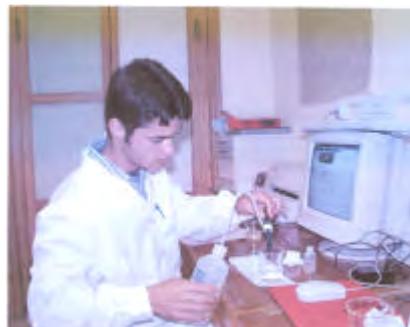


Figura 6.

É opinião da professora que pôs em prática tal planificação que durante a abordagem do tema em estudo os alunos manifestaram bastante entusiasmo em todas as tarefas da aula. Foi notório o interesse despertado, logo na primeira aula, pela leitura do artigo de jornal sobre o impacto económico e turístico da produção de cerejas para a sua região. Mesmo os alunos habitualmente pouco participativos, sentiram-se impelidos a intervir por se tratar de um assunto que lhes era familiar, gerando-se uma troca de ideias interessante sobre os actuais problemas, nomeadamente de desemprego da região.

Após a questão guia ficou instalado o clima de curiosidade sobre o desenvolvimento do assunto. A partir daí foi fácil fazer a ligação ao texto sobre a agricultura, que permitiu a introdução dos conceitos centrais no tema.

A abordagem foi desafiante para os alunos que se sentiram estimulados a conhecer mais e a pesquisar sobre o assunto.

Na reflexão da professora sobressaem ainda aspectos que se prendem com o desenvolvimento de competências nos alunos e com a aquisição de conhecimentos que lhes permitem actuar e compreender o real: "Relativamente às competências específicas que se pretendia desenvolver, os alunos, através do seu desempenho nas actividades laboratoriais, da participação nos debates promovidos nas aulas e pelas actividades escritas, demonstraram, progressivamente, conhecer os conteúdos explorados ao longo das aulas e notou-se uma evolução positiva relativamente à aquisição e mobilização dos conhecimentos adquiridos, para a explicação e exploração do real.

Os alunos foram capazes de desenvolver um plano coerente de trabalho para dar resposta ao problema colocado".

Para a professora a utilização de recursos e actividades diversificadas, a interdisciplinaridade promovida e a abordagem contextualizada e com carácter experimental, foram os aspectos fundamentais que contribuíram para que o trabalho fosse bem sucedido.

A sequência desenvolvida contribuiu para uma maior motivação dos alunos e, por essa razão, para maior interesse e participação nas actividades e, em particular, para que encarassem a Química numa perspectiva de maior proximidade pela estreita ligação ao quotidiano. Tratou-se de um trabalho que exigiu à professora um maior investimento na procura e actualização da informação contudo ela considerou-o muito gratificante.

Afinal, através de uma situação contextualizada, surgiu como consequência a necessidade de recorrer à Química e surgiu a Química como uma área do saber estreitamente ligada à vida do quotidiano.

## ANEXO: AGRICULTURA E SOLOS

Com o aumento da população mundial, a agricultura teve de se tornar muito mais intensiva para a sustentar. Grande parte das terras são hoje utilizadas na produção de 30 culturas principais que alimentam o mundo; destas, o trigo, o arroz, o milho e a batata são as mais importantes. A investigação científica procura continuamente novos processos de aumentar a produção: afectando maior área à agricultura, aumentando a produtividade das terras aráveis existentes mediante a utilização de fertilizantes, desenvolvendo novas variedades...

Os principais factores determinantes duma determinada cultura são o clima – temperatura e pluviosidade – e a natureza do solo.

A química pode exercer uma grande influência nos factores ligados ao solo, nomeadamente com a produção de fertilizantes, mas não só.

A **natureza química do solo** e o seu valor de **pH** dependem da rocha de que se formou e condicionam o desenvolvimento de uma comunidade vegetal específica. A maioria das plantas, incluindo as de interesse agrícola, exige diversas condições favoráveis ao seu desenvolvimento, nomeadamente o pH do solo.

Um testemunho que evidencia que as plantas não são indiferentes ao pH do solo é o caso das hortênsias e das plantas de interior.



Figura 7.

As plantas para se desenvolverem em boas condições, requerem solos com valores de pH adequados. Enquanto que umas espécies crescem melhor em solos

ácidos (por exemplo a batata e a vinha), outras fazem-no em solos alcalinos (por exemplo a beterraba e o feijão) e outras ainda, só se produzem em solos neutros, como é o caso do milho.

Cada cultura possui um valor ideal de pH para o seu bom crescimento.

Na tabela seguinte podem ver-se os valores de pH favoráveis para o bom desenvolvimento de algumas culturas.

O excesso de alcalinidade e sobretudo de acidez, constituem condições adversas para a vida.

Tabela 1. *Valores de pH favoráveis às culturas.*

<b>Culturas</b>	<b>pH</b>
Arroz	5,0-6,5
Batata	4,5-7,0
Ervilha	5,0-8,0
Arvores de fruto	6,0-7,5
Morangueiro	7,0-8,0
Nabo	5,5-7,0
Oliveira	6,0-7,5
Trigo	6,0-7,2
Fava	6,0-7,5
Cevada	6,5-8,0
Beterraba sacarina	7,0-7,5

Um solo ácido, entre outras coisas, impede que determinados macronutrientes sejam retirados do solo pelas plantas. Já um solo muito básico impede a retirada de micronutrientes, necessários para um bom desenvolvimento da planta.

A determinação do pH dos solos é de grande importância, pois permite escolher a cultura adequada ao tipo de solo, ou mesmo corrigi-lo, modificando o seu pH (adaptado).

## **REFERÊNCIAS**

1. D. Hodson, *The School Science Review*, **1992**, Vol. 73 (264), 65-67.
2. R. Millar, *School Science Review*, **1996**, Vol. 77, 23-32.
3. J.A. Acevedo Díaz, *Enseñaza de las Ciencias*, **1996**, Vol. 14 (1), 35-44.
4. P. Membiela Iglésia, *Enseñanza de las Ciencias*, **1997**, Vol. 15 (1): 51-57.
5. I. Martins, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, **2002**, Vol. 1(1). (<http://www.saum.uvigo.es/reec>)
6. M.F. Paixão, *Da construção do conhecimento didáctico na formação de professores. Conservação da massa nas reacções químicas. Um estudo de índole*

- epistemológica* (Dissertação de Doutoramento, não publicada). Universidade de Aveiro (1998).
7. A. Cachapuz, *Perspectivas de ensino*, Centro de Estudos de Educação em Ciências, Porto (2000).
  8. D. Gil-Pérez, & J. Carrascosa-Allis, *Science Education*, **1994**, Vol. 78 (3): 301-315.
  9. G. H. Wheatley, *Science Education*, **1991**, 75 (1), 9-21.
  10. J.B. Lopes, *Resolução de problemas em Física e Química-Um modelo para estratégias de ensino-aprendizagem*, Texto Editora, Lisboa (1994).
  11. A.P. Boto, *Planificação de uma estratégia de Ensino-Aprendizagem*, Trabalho no âmbito do Módulo de Metodologia Específica Física e Química, Escola Superior de Educação Castelo Branco (2002).
  12. Competências Essenciais, *Departamento de Educação Básica*, Ministério da Educação, Lisboa (2001).
  13. J. Praia, & J. Coelho, *Educare-Educere*, **1997**, Vol. 2 (3).

## Parte II

---

# Recursos Didácticos: Experimentos y Ejemplos



## ¡EN CASA Y CON GASEOSA!

*Paloma González del Barrio*<sup>1</sup>, *Emiliano González Izquierdo*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> I.E.S Conde Diego Porcelo, Eloy García de Quevedo s/n, 09006-Burgos

<sup>2</sup> I.E.S. Santo Domingo de Guzmán, Plaza Santo Domingo s/n, Lerma, 09340-Burgos.  
eglezi@terra.es

*En el presente trabajo presentamos una serie de actividades que, basadas en el empleo de un sistema, en principio tan banal como la gaseosa, permiten abordar temas como el estudio de los equilibrios heterogéneos o las soluciones reguladoras.*

### 1. INTRODUCCIÓN

Los experimentos los haces en casa y con gaseosa. Cuántas veces se ha empleado esta frase para indicar que las pruebas han de hacerse con sistemas que resulten absolutamente inocuos.

Pero, ¿es la gaseosa un sistema tan simple como la frase nos quiere dar a entender?. ¿Esconde alguna carta guardada en la manga?.

Con el objeto de intentar dar respuesta a estas cuestiones, hemos diseñado una serie de actividades, algunas de ellas realizadas con gaseosa, con las que intentamos poner de manifiesto que un sistema, en principio tan trivial y cotidiano como es una botella de gaseosa, esconde mucha más Química de lo que parece.

Se han entendido estas actividades, no como las tradicionales prácticas de laboratorio, sino como pequeñas investigaciones que permitan a los alumnos una mejor comprensión e interpretación del medio que les rodea y de los fenómenos que ocurren en él.

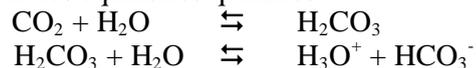
Es nuestra intención, además, mostrar una forma de relacionar este tema con otros y dar una propuesta de aplicación concreta de los conceptos de equilibrio químico en el análisis de situaciones de la vida cotidiana.

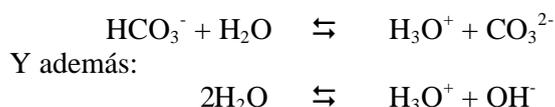
Nos ha parecido interesante incluir en el texto algunos comentarios orientativos para el profesor.

Antes de empezar, se plantean unas cuestiones previas sobre el objeto de nuestro estudio.

A.1. Toma una gaseosa, lee en su etiqueta y anota sus ingredientes.

Se trata de una mezcla que tiene básicamente agua, saborizantes y CO<sub>2</sub>. Esta mezcla es una disolución en la que el disolvente es agua y el soluto principal es el CO<sub>2</sub>. Resumiendo, la gaseosa es agua carbónica. Forma una disolución en la que se pueden encontrar tres equilibrios químicos:





A.2. ¿Qué pasa con un vaso de agua que se deja toda una noche a temperatura ambiente?. ¿A qué se debe?.

Este vaso suele aparecer por la mañana con burbujas en el seno del líquido. La aparición de burbujas está relacionada con el cambio de solubilidad del oxígeno en el agua, ocasionada por el cambio de temperatura.

A.3. ¿Qué variables influyen en la solubilidad de los gases?.

A.4. ¿Se escapa gas al destapar una botella de gaseosa?. ¿Por qué?.

El gas se escapa irremediamente, ya que el dióxido de carbono disminuye su solubilidad al disminuir la presión, esto hace que quede una escasa cantidad de gas dentro del líquido. La disolución de un gas implica confinar sus moléculas en un volumen bastante más reducido que en el gas libre. Al aumentar la presión aumenta la proximidad entre las moléculas gaseosas, lo que incrementa la solubilidad.

## 2. LA FORMACIÓN DE GRUTAS. UNA SIMULACIÓN CON GASEOSA (Estudio del equilibrio químico $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + 2 \text{HCO}_3^-$ )

La roca caliza, insoluble en agua, es disuelta por el agua carbónica. La magnitud de la reacción depende de los movimientos y velocidad del agua y de la concentración del  $\text{CO}_2$  en la disolución que, a su vez, es función de la temperatura y de la presión parcial del  $\text{CO}_2$  en la disolución.

El dióxido de carbono, el carbonato de calcio, el ión bicarbonato y el ión calcio forman el siguiente equilibrio:



Este equilibrio puede también evolucionar en sentido contrario, causando la precipitación del carbonato de calcio. La formación de la sal se verá favorecida por un aumento de la temperatura y por una disminución de la presión parcial del  $\text{CO}_2$ .

B.1. La formación de las cuevas se debe a la acción del agua que va disolviendo la roca caliza lentamente. ¿Cómo piensas que se puede dar este fenómeno si la caliza es prácticamente insoluble en agua?.

El  $\text{CaCO}_3$  es bastante insoluble en agua pura, pero se disuelve en agua que lleve disuelto  $\text{CO}_2$ , debido a la conversión del carbonato en bicarbonato, que es soluble. Como el agua de lluvia, de los arroyos y de los ríos lleva siempre disuelto  $\text{CO}_2$  procedente de la atmósfera, cuando fluye por terrenos con caliza va disolviendo los carbonatos, dando lugar a la formación de cavernas subterráneas, o bien a las

prodigiosas cortaduras, crestas y caprichosas formas que adquieren las montañas de piedra caliza (Ciudad Encantada de Cuenca).

### B.2. PRÁCTICA.

- Disuelve 1 ó 2 g de carbonato de calcio (calidad Blanco España) en 200 cm<sup>3</sup> de agua. Anota los resultados.
- Disuelve también 1 ó 2 g de carbonato de calcio en 200 cm<sup>3</sup> de gaseosa. Anota los resultados.

¿Qué diferencias observas entre los dos procesos?.

A simple vista no se observan muchas diferencias, sin embargo el carbonato de calcio es insoluble en agua, pero se disuelve en gaseosa, donde se encuentra disuelto en agua el CO<sub>2</sub>, formando hidrógenocarbonato de calcio que sí es soluble en agua.

B.3. Escribe la reacción química que lleva consigo la disolución del carbonato de calcio.



B.4. En el interior de las cavernas se forman agregados cristalinos de calcita, que adquieren formas extremadamente hermosas y caprichosas. Cuando las formaciones penden del techo de las cuevas se denominan estalactitas. ¿Cuál es la causa de la formación de una estalactita?.

Si el agua que contiene bicarbonato de calcio disuelto, gotea en una cueva, se va desprendiendo el CO<sub>2</sub> y evaporándose el agua, con lo que la reacción:



se desplaza hacia la izquierda y se precipita lentamente el CaCO<sub>3</sub>.

B.5. Busca el proceso de formación de una estalactita, su morfología y las condiciones más adecuadas para su formación.

Cuando el agua procedente de una fisura desemboca en un conducto aéreo, alrededor de la gota precipita una finísima capa de calcita, el agua va circulando por el interior de estos pequeños tubos haciéndolos cada vez más largos produciéndose poco a poco el crecimiento de una concreción cilíndrica hueca de poco espesor y por cuyo interior continúa circulando el agua. De esta forma, la estalactita formará una pared que tendrá entre 0,1 y 0,5 mm de espesor. Este tipo de crecimiento se llama crecimiento primario. Cuando por algún motivo estos tubos se obstruyen o se produce algún cambio, el agua pasa a deslizarse por el exterior engrosando la formación, se produce entonces el crecimiento secundario de la estalactita.

Si la estalactita tiene un crecimiento rápido será más delgada que si tiene un crecimiento lento. Una estalactita crece al año un volumen entre 1 y 2 cm<sup>3</sup> de estructura cristalina. La formación de la estalactita se ve favorecida por la lentitud del

goteo, que favorece la marcha del  $\text{CO}_2$  y del agua, y de la constancia de una temperatura de 12 a 14 °C en la cueva.

#### B.6. PRÁCTICA.

Se añaden 2 ó 3 g de carbonato de calcio (calidad Blanco España) a 250 cm<sup>3</sup> de gaseosa; se agita y se deja decantar. A continuación, se filtra con un filtro doble y se recoge el filtrado que debe ser absolutamente transparente y no presentar traza ninguna de precipitado. A veces aparece un coloide de  $\text{CaCO}_3$  capaz de atravesar el filtro, enturbiando el filtrado. La adición de unos mililitros de gaseosa elimina el precipitado por solución del mismo.

Situar el filtrado en una bureta en la que previamente se ha colocado un algodón en forma de estalactita en su extremo inferior de unos 5 cm de longitud. Abrir la llave de la bureta y dejar caer lentamente gota a gota el filtrado que se recogerá en un vaso de precipitados, repitiendo la operación las veces que sea necesario.

Al cabo de tres días se apreciará en el extremo del algodón y al tacto, la formación de una concreción calcárea, no soluble en agua y sí soluble en ácidos.

La temperatura de la habitación debe ser alta para favorecer el proceso.

#### B.7. PRÁCTICA

Dejar evolucionar una disolución transparente de  $\text{CaCO}_3$  en gaseosa durante una semana o diez días.

Al cabo de ese tiempo aparece un precipitado blanco de  $\text{CaCO}_3$  pegado a las paredes del recipiente, debido a la salida del medio del  $\text{CO}_2$ . En principio podría pensarse que la aparición del precipitado se debe a la evaporación del agua. Sin embargo, la adición de agua no conduce a la disolución del precipitado, siendo éste, por otra parte, soluble en ácidos y en gaseosa, aunque la disolución en este reactivo es mucho más lenta.

#### B.8. PRÁCTICA

Si el proceso anterior es lento se puede acelerar variando las condiciones del equilibrio.

Preparar de nuevo una disolución de  $\text{CaCO}_3$  en gaseosa, colocar el filtrado unido a una trompa de vacío y sobre una placa a una temperatura de unos 40 °C.

Al cabo de unos 20-30 minutos, se observará la aparición de un precipitado en el fondo del matraz, no soluble en agua y sí soluble en ácidos y en gaseosa.

B.9. Si el proceso anterior es todavía demasiado lento se puede acelerar variando más drásticamente las condiciones del equilibrio.

Preparar de nuevo una solución de  $\text{CaCO}_3$  en gaseosa y someter la disolución a ebullición.

Al cabo de poco tiempo aparecerá un precipitado de  $\text{CaCO}_3$ , no soluble en agua y soluble en ácidos y en gaseosa.

Se aprovecharán estas prácticas para hablar del equilibrio químico y los factores que le condicionan. En todos los casos ha aparecido un precipitado de carbonato de calcio por salida del sistema del  $\text{CO}_2$ , producido por un aumento de la temperatura o por una disminución de la presión parcial del  $\text{CO}_2$  del sistema y en algunos casos por los dos factores.

B.10. Infórmate de cómo los corales son capaces de construir esqueletos de carbonato de calcio, y de cuál son los condicionantes más importantes que influyen en esta formación.

Los corales son unos integrantes del reino animal capaces de construir esqueletos de carbonato de calcio que les permiten formar una estructura sólida soporte de una gran variedad de formas de vida, tienen la propiedad de vivir en simbiosis con unas algas, zooxantelas, capaces, mediante la fotosíntesis, de transformar la energía luminosa del Sol en energía química, produciendo oxígeno y compuestos orgánicos, los cuales son aprovechados por el coral. Por su parte las zooxantelas obtienen protección, ya que viven dentro del tejido del coral. Las zooxantelas utilizan el  $\text{CO}_2$ , producido por los corales al respirar, en su proceso de fotosíntesis. En los vegetales el balance fotosíntesis-respiración se inclina hacia el primero de los términos, con consumo de  $\text{CO}_2$ , pérdida de este en la solución y por tanto con precipitación de carbonato. La demanda de  $\text{CO}_2$ , por parte de las zooxantelas, acelera la producción de  $\text{CaCO}_3$ .

La variable más importante que entra en juego es la temperatura. Los arrecifes se dan en aguas cálidas, mares tropicales, los mejor desarrollados se dan entre 23 a 25 °C. La temperatura favorece la salida del  $\text{CO}_2$  del equilibrio, desplazándose a la derecha con formación del  $\text{CaCO}_3$ .

Son factores también importantes la turbidez y la luminosidad. La luz es el recurso más importante para el crecimiento de los corales, ya que debe estar disponible en cantidad suficiente para permitir a las zooxantelas realizar la fotosíntesis y con ello la habilidad de los corales para depositar  $\text{CaCO}_3$ .

B.11. ¿Qué entiendes por dureza de las aguas?.

La dureza de las aguas es debida a que contiene principalmente sales de calcio y magnesio. La dureza la adquiere el agua a su paso a través de las formaciones de roca que contienen los elementos que la producen. El poder solvente lo adquiere el agua a su paso por la capa del suelo donde puede disolver  $\text{CO}_2$ . En un agua dura podemos encontrar el siguiente equilibrio:  $\downarrow \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Ca}^{2+} + 2 \text{HCO}_3^-$ .

La dureza se puede eliminar por destilación del agua, pero el proceso no es económico. Lo que se hace es, bien añadir  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , con los que los iones anteriormente citados se eliminan por precipitación en forma de carbonato, bien utilizar una resina intercambiadora de iones.

B.12. ¿Qué diferencias existen entre aguas de dureza temporal y aguas de dureza permanente?

La dureza permanente está causada por cloruros y sulfatos y la temporal por bicarbonatos. En este último caso la dureza puede eliminarse hirviéndola, con lo que el bicarbonato se descompone, quedando el carbonato depositado en el fondo.

B.13. ¿Qué inconvenientes presentan la utilización de aguas duras?

Estas aguas requieren grandes cantidades de jabón para producir espuma. Además producen incrustaciones en los tubos de agua caliente (según el equilibrio anteriormente citado, el  $\text{CO}_2$  se va del sistema con la consiguiente precipitación del carbonato de calcio) y algunas otras unidades donde la temperatura es alta. Las incrustaciones son de consideración muy importante, sobre todo en la industria, porque pueden obstruir las tuberías de tal forma que se produzcan explosiones o se inutilicen las unidades de procesos industriales.

### 3. LA GASEOSA COMO SOLUCIÓN REGULADORA

Una disolución reguladora es aquella en la que se producen muy pocas variaciones de pH por adición de moderadas cantidades de ácidos y de bases. Contienen un ácido o una base débil y una de sus sales.

En el caso que nos ocupa la solución reguladora está formada por las parejas  $\text{H}_2\text{CO}_3 / \text{HCO}_3^-$  y  $\text{HCO}_3^- / \text{CO}_3^{2-}$ , es decir se trata de un ácido débil y una de sus sales.

Tradicionalmente, el tema de equilibrio químico presenta dificultades para los alumnos, no sólo en la identificación de los distintos procesos (ionización, hidrólisis o disoluciones reguladoras), sino también en la aplicación de lo estudiado a distintos casos particulares. Por otro lado, conocer el comportamiento de una disolución reguladora es importante para entender la bioquímica de distintos procesos que se dan en los organismos.

A través de las actividades que se proponen, realizadas con gaseosa, se estudiará el concepto de una disolución reguladora y además podrán revisarse los conceptos de ionización y de hidrólisis aunque sea de soslayo. Se vinculará al mismo tiempo con el estudio de la constancia de pH en la sangre, que nos ha parecido una reacción de máxima importancia. Sólo señalar que en los seres vivos se controla la concentración de protones en un rango de 35 a 45 nmol/l.

C.1. Determinar con papel indicador el valor aproximado del pH del agua y el de una disolución carbónica (gaseosa).

C.2. Sobre 2 ml de agua a la que se le han añadido unas gotas de fenolftaleína como indicador se añade gota a gota una disolución 0,1 M de NaOH. Se anotan las

gotas precisas para que el indicador cambie de color. Se repite el proceso empleando ahora 2 ml de gaseosa.

C.3. Realizar las mismas actividades sobre agua y gaseosa empleando HCl como acidificante y naranja de metilo como indicador.

C.4. Realizar un estudio de la variación de pH del agua destilada y de la gaseosa cuando a las mismas se añaden ácidos y bases.

- A 100 ml de agua de agua se añade desde una bureta una disolución 0,1 M de HCl. Repetir la operación, pero añadiendo una disolución 0,1 M de NaOH. El pH de la disolución se controlará mediante el uso de un pH-metro. Anotar los resultados.
- Repetir las mismas operaciones, pero utilizando ahora 100 ml de gaseosa.

Los resultados obtenidos se indican en las gráficas de la figura 1.

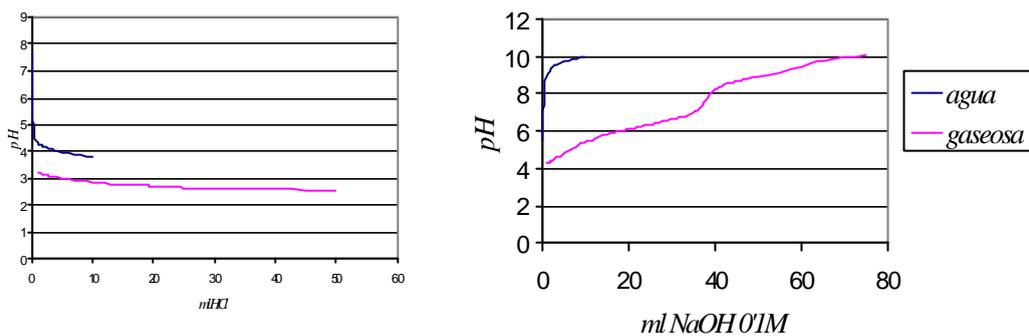


Figura 1. Variación de pH frente a la adición de disolución de HCl (izquierda) y frente a la adición de disolución de NaOH (derecha), en las condiciones explicadas en el texto.

Un aspecto importante de nuestra propuesta es vincular al alumno con preguntas con algún caso relacionado con la vida cotidiana, se les propondrán las siguientes preguntas con objeto de que investiguen:

C.5.¿Cuál es el principal regulador extracelular del pH?

El alumno concluirá que la solución reguladora  $\text{H}_2\text{CO}_3 / \text{HCO}_3^-$  ayuda a mantener pH de la sangre a valor casi constante de 7,4, aún cuando la corriente sanguínea transporte continuamente sustancias ácidas o básicas.

C.6. Escribe las ecuaciones de la acción reguladora de una solución que contenga  $\text{H}_2\text{CO}_3$  y  $\text{HCO}_3^-$ .

Cuando se añade un ácido:  $\text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+ \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ .

Cuando se añade una base:  $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{OH}^- \leftrightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$ .

Se les señalará que, cuando hay un exceso de ácido, para evitar que el pH caiga demasiado, el  $\text{H}_2\text{CO}_3$  se descompone en  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ , la velocidad de la respiración aumenta y el  $\text{CO}_2$  se elimina en los pulmones. Cuando hay un exceso de álcali se formará  $\text{H}_2\text{CO}_3$  con más rapidez con el  $\text{CO}_2$  en los pulmones.

C.7. ¿Cuál es la relación  $[\text{HCO}_3^-]/[\text{H}_2\text{CO}_3]$  que se requiere para mantener un pH de 7,4 en la corriente sanguínea sabiendo que la constante para el ácido es de  $8 \cdot 10^{-7}$  en la sangre?

$\text{pH} = \text{pKa} + \log [\text{H}_2\text{CO}_3]/[\text{HCO}_3^-]$  y de ello,  $[\text{HCO}_3^-]/[\text{H}_2\text{CO}_3] = 20$

## BIBLIOGRAFÍA

1. R.A. Berner y A. Lasaga, *Investigación y Ciencia*, **1989**, 152.
2. T. L. Brown, H.E. Le May y B.E. Bursten, *Química. La Ciencia central (7ªed.)*, Ed. Prentice Hall, México (1998).
3. J. Hierrezuelo y A. Montero, *La ciencia de los alumnos: su utilización en la didáctica de la Física y la Química*, Ed. Laia / M.E.C. (1989).
4. J.J. Lozano Lucea y J.L. Vigata Campo, *Fundamentos de Química General*, Ed. Alhambra-Longman, Madrid (1991).
5. J. Morcillo, *Temas básicos de Química*, Ed. Alhambra, Madrid (1989).
6. J. Morcillo, *Temas básicos de Química*, Ed. Alhambra-Longman, Madrid (1993).
7. A. Pulido Bosch, *Investigación y Ciencia*, **1996**, 232.
8. A.N. Strahler, *Geología física*, Ed. Omega, Barcelona (1992).
9. S. Vicente Pérez, *Química de las disoluciones*, Ed. Alhambra, Madrid (1989).
10. F. Vinagre, M.R. Mulero y J.F. Guerra, *Cuestiones curiosas de Química*, Ed. Alianza Editorial, Madrid (1998).

## VISUALIZACIÓN DE LA LEY DE HENRY PARA ALUMNOS DE ENSEÑANZA SECUNDARIA

*Manuela Martín Sánchez*<sup>1</sup>, *M<sup>a</sup>.Teresa Martín Sánchez*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Educación, Universidad Complutense de Madrid, 28040-Madrid

<sup>2</sup>I.E.S. Fernando de Rojas, Colombia 46, 37003-Salamanca  
mtmartin@usuarios.retecal.es

*Se describe un experimento muy sencillo, pero espectacular, que se puede hacer con alumnos de Enseñanza Secundaria en el propio aula.*

### 1. INTRODUCCIÓN

Según la ley de Henry, la solubilidad de los gases en los líquidos aumenta al disminuir la temperatura y al aumentar la presión, por eso los alumnos saben que todas las bebidas gaseadas están envasadas a presiones altas y se sirven frías. Sin embargo, posiblemente, no son conscientes de la presión tan grande que tiene una lata o una botella de una bebida gaseada ni los inconvenientes que puede tener tomarlas excesivamente frías. Los comerciantes que manejan este tipo de bebidas tienen una idea más correcta de la presión, que puede llegar a ser de hasta cuatro atmósferas, porque saben que si se rompe una botella de estas bebidas salen trozos en todos los sentidos como si fueran proyectiles.

### 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para que los alumnos comprendan lo alta que es la presión y, además, cómo la solubilidad disminuye al calentar, es un buen experimento verter una bebida gaseada fría en un biberón cuya tetina se ha soldado previamente. Al colocar la tetina sobre el frasco del biberón, si está perfectamente ajustada, se hincha como si fuera un globo. Para dramatizar más el acto con alumnos de E.S.O. se puede buscar previamente algún alumno que esté dispuesto a soplar en la tetina para inflarla; algo que evidentemente no conseguirá.

Lo único que se necesita es una tetina cuyo orificio esté perfectamente soldado lo que se debe hacer con un pegamento adecuado para el látex. La bebida debe estar bastante fría y se debe abrir con cuidado, sin agitar, y verter rápidamente en el botellín del biberón. Una vez introducida la bebida en el biberón, se ajusta la tetina para que quede bien cerrado. Si se calienta con las manos el botellín del biberón y se agita la tetina, ésta se va inflando cada vez más, como se aprecia en la figura 1. Incluso puede llegar a explotar.

Los alumnos describirán lo que ha sucedido y por qué. Explicarán además qué inconvenientes puede tener tomar bebidas gaseadas excesivamente frías para lo cual

deberán pensar en qué sucederá con el estómago y qué órganos hay próximos a éste que se puedan ver afectados por su aumento de tamaño.



Figura 1. *Fotografía del dispositivo experimental descrito en el texto.*

### **BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA**

1. A. Galindo y otros, *Física y Química de 1º de bachillerato*, Ed. McGraw-Hill, Madrid (1997).
2. M. Martín Sánchez y M<sup>a</sup>.T. Martín Sánchez, “Is it good taken a cold fizzy drink?”, *Physics in new fields and modern applications*, Lund (Suecia), 5 a 9 de Agosto 2002. <http://www.girep.fysik.lu.se/abstracts/>.

## **EJEMPLOS RELACIONADOS CON ELECTROQUÍMICA PARA ALUMNOS DE ENSEÑANZA SECUNDARIA**

*Manuela Martín Sánchez*<sup>1</sup>, *M<sup>a</sup>.Teresa Martín Sánchez*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Educación, Universidad Complutense de Madrid, 28040-Madrid

<sup>2</sup>I.E.S. Fernando de Rojas, Colombia 46, 37003-Salamanca  
mtmartin@usuarios.retecal.es

*Se presentan ejemplos de trabajos experimentales sencillos y cuestiones, la mayoría relacionados con la vida diaria, que sirve para afianzar los conocimientos de Electroquímica que debe tener un alumno de nivel elemental.*

### **1.INTRODUCCIÓN**

A un nivel elemental, consideramos que es importante que queden claras para los alumnos las siguientes ideas:

1. Unos metales son más activos que otros y los más activos pueden desplazar en sus compuestos a los menos activos.
2. Con dos metales de distinta actividad, separados por un medio húmedo, fundamentalmente ácido, se puede conseguir un generador de energía eléctrica mediante una reacción química que se conoce como "pila eléctrica", tendríamos de esta forma un sistema químico productor de energía eléctrica.
3. Mediante la energía eléctrica podemos romper enlaces químicos, proceso llamado electrólisis. Así conseguiremos un sistema químico productor de sustancias.
4. Mediante una reacción química reversible podemos acumular energía eléctrica. Así funcionan los acumuladores eléctricos, porque al efectuarse la reacción en un sentido captan energía eléctrica y, en sentido contrario, la devuelven.

### **2. ACTIVIDAD DE LOS METALES: SERIE DE TENSIONES O SERIE DE POTENCIALES**

Antes de comenzar a trabajar experimentalmente, sobre todo con alumnos de niveles primarios, se debe comenzar por agrupar los metales, según su actividad, en una serie que será la que después utilicen para explicar los resultados experimentales.

Una conversación con los alumnos permitirá que lleguen a la idea de que la propiedad más característica de los metales, que se puede apreciar a simple vista, es el brillo. Mantener el brillo significará ser muy estable, tener poca tendencia a combinarse con otras sustancias o, lo que es lo mismo, ser poco activo. Se plantearán

las siguientes preguntas: ¿para qué se utilizan los metales que conservan su brillo en la vida corriente? y ¿cuáles son los más apreciados en joyería y por qué?.

Los químicos agrupan los metales en una serie según su actividad, consideran término cero el hidrógeno, por encima colocan los menos activos y, por debajo, los más activos, siempre ordenados según actividad creciente. Esta serie nos permite predecir cómo se van a comportar unos metales frente a distintos compuestos químicos.

Con la ayuda de los propios alumnos se escribirá la serie de actividad, incluyendo sólo los metales de uso más frecuente en la vida diaria; serie que los alumnos utilizarán para predecir el comportamiento de estos metales en los experimentos que proponemos.

Varias reacciones químicas nos permiten comprobar la diferente actividad de los metales (1-3). Un metal más activo desplaza a otro menos activo que forma parte de un compuesto.

## **2.1. ¿Cómo obtener plata?**

Si tenemos nitrato de plata y queremos obtener plata bastaría con buscar un metal más activo, como puede ser el cobre.

Podemos hacerlo de dos formas:

1. Con una moneda de color amarillo (cinco céntimos de euro) y disolución 0,1 M de nitrato de plata (17 g/L). Se pueden obtener cristales de plata vertiendo sobre una moneda de color amarillo unas gotas de disolución de nitrato de plata, al microscopio se pueden observar los cristales de plata que recubren la moneda.

2. En un tubo de ensayo se coloca la disolución de nitrato de plata y se introduce un cable de cobre de múltiples hilos, con estos hilos separados como si fuera una escobilla. Se irán formando unos cristales de plata que quedan colgando del hilo de cobre y la disolución irá tomando una tonalidad azul debido al nitrato de cobre (II). Es interesante sacar los cristales de plata y observarlos con una lupa binocular.

## **2.2. Limpieza de los objetos de plata**

El método más adecuado es convertir el óxido o sulfuro de plata, que son los compuestos químicos que se han formado en la superficie y recubren la plata (quitándola el brillo). De esta forma no se pierde metal cada vez que se limpia y, además, queda muy brillante y sin manchas. Para ello necesitaremos un metal más activo como es el aluminio.

Se favorece la reacción en un medio básico y calentando. Un medio básico lo podemos conseguir con detergente de los que se utilizan para las lavadoras. Cuando lo que se quiere limpiar es un objeto pequeño, como una sortija, se puede utilizar papel de aluminio. Para objetos más grandes se necesita lámina de aluminio.

La forma de trabajar consistiría en poner en un recipiente agua caliente a la que se añade un poco de detergente; en esa disolución se introducen el objeto que queremos limpiar y una lámina de aluminio que se debe colocar en contacto con el objeto.

### **2.3. Acción del ácido clorhídrico sobre distintos metales**

Este experimento se puede hacer en cápsulas petri sobre el retroproyector. Se coloca una lámina de plástico transparente para que no se manche el retroproyector y sobre ella se colocan varias cápsulas petri y, en cada una, uno de los siguientes metales: magnesio, cobre, cinc y hierro, escribiendo al lado de cada cápsula el símbolo del metal para que los alumnos sepan donde está cada uno. Al añadir el ácido clorhídrico, el trozo de magnesio desaparece rápidamente produciendo efervescencia, el de cinc y el hierro lo hace más lentamente y el de cobre no reacciona.

Los alumnos deberán indicar si este comportamiento está de acuerdo con la serie que habían escrito.

El HCl puede ser de concentración entre 5 M y 2 M.

### **3. PILAS ELÉCTRICAS (SISTEMAS ELECTROQUÍMICOS PRODUCTORES DE ENERGÍA)**

Se puede conseguir una pila eléctrica con dos metales de distinta actividad en medio ácido. Biot (4), en su libro de Física, dice que la mayor desviación en el electrómetro se consigue con una lámina de cobre y una de cinc introducidas en una disolución de sulfato de hierro (II).

En cualquiera de los casos, el metal más activo va desapareciendo porque cede sus electrones, por lo que será el ánodo de la pila, mientras que el menos activo captaría los electrones actuando de cátodo. Con frecuencia en los libros de texto, sobre todo en niveles elementales, se indican los nombres de ánodo y cátodo en una pila de forma incorrecta, para no confundirse lo mejor es recurrir al significado etimológico:

Cát-odo = camino hacia abajo

Án-odo = camino hacia arriba

El cátodo sería el camino por donde entran (o bajan) los electrones al sistema y el ánodo el camino por donde suben (o salen) los electrones del sistema.

Es decir, en una pila de cinc y cobre, el cátodo será el cobre y el ánodo será el cinc. El primero estará recogiendo los electrones del circuito exterior y el cinc estará enviándolos al circuito exterior.

#### **3.1. Pila con monedas blancas y amarillas**

Para esta experiencia se necesitan:

- 3 monedas de peseta (blancas), muy limpias,
- 3 monedas de cinco pesetas (amarillas) muy limpias,
- 6 círculos de papel de filtro de diámetro ligeramente superior a las pesetas,
- 10 mL de vinagre,
- unos cristales de sal gorda de cocina.

Se disuelve la sal en el vinagre y, posteriormente, se introducen los círculos de papel de filtro en la disolución para que se empapen bien, y se dejan escurrir colocándolos sobre papel de filtro, con cuidado de que no se sequen excesivamente porque en ese caso la pila no funcionaría.

Se comienza colocando una moneda amarilla, después dos trozos de papel de filtro empapados en la disolución, a continuación una moneda blanca y, en contacto directo con esta última, una amarilla. Se repite todo el proceso hasta que se hayan colocado todas las monedas, de esta forma quedarán tres pilas en serie y, si estaban bien limpias, se encenderá un LED rojo apoyando sus patas sobre la primera peseta amarilla y la última blanca. No se puede olvidar que el LED sólo funciona en un sentido por lo que, en caso de que no funcione, se deberá de comprobar cambiando las patas de posición.

Actualmente, como los euros tienen una zona amarilla no servirían las monedas. En su lugar, se pueden utilizar láminas, de aproximadamente 1 cm<sup>2</sup> de cinc y de cobre.

Este experimento se puede hacer perfectamente en el aula, trabajando en grupos de cuatro alumnos y está directamente relacionado con lo que hizo Volta y por eso lo llamo pila, que viene de “apilar” (juntar) varias láminas con un medio húmedo. Berzelius (5) indica que el efecto se aumenta si al humedecer los paños o cartones se hace con una disolución de sal de cocina en vinagre.

### **3.2. Pila para poner en funcionamiento un reloj eléctrico de pared**

En esta experiencia es necesario:

- lámina de cobre muy puro, de aproximadamente 4 cm x 6 cm,
- cinta de magnesio de unos 15 cm de larga. Para que no ocupe tanto se puede enrollar a una lapicero formando una espiral,
- reloj eléctrico de pared,
- un bote de zumo de frutas no gaseado,
- dos pinzas de cocodrilo,
- dos trozos de cable de cobre de aproximadamente 15 cm,
- un soporte para colgar el reloj,
- un vaso de, aproximadamente, 200 mL. Interesa que sea bastante ancho y que no tenga rebordes, por lo que es preferible un vaso de los que se usan en las casas, o un frasco de vidrio de los que se utilizan para mermeladas,
- vinagre para limpiar el magnesio,

- ácido clorhídrico, de concentración 5 M, aproximadamente, para limpiar el cobre.

Previamente al experimento se deben de limpiar bien la cinta de magnesio y la lámina de cobre. La primera se limpia dejándola durante un minuto introducida en vinagre. La segunda sumergiéndola en ácido clorhídrico bastante concentrado. Es imprescindible que esta operación se haga poco antes de hacer el experimento porque, sobre todo el magnesio, se recubre pronto de una capa de óxido y carbonato que le restan actividad.

Una vez limpias las láminas, se colocan dentro del vaso de forma que no entren en contacto. Se conecta uno de los cables de cobre a la lámina y el otro a la cinta. Los otros extremos se conectan con las pinzas de cocodrilo a las conexiones de que dispone el reloj eléctrico para colocar la pila, teniendo cuidado de que el positivo vaya unido al cobre y el negativo al magnesio.

Se añade el zumo de frutas dentro del vaso, con cuidado de que no llegue a cubrir la conexión de los cables con la lámina de cobre ni con la cinta de magnesio. Si las conexiones eléctricas se han hecho bien y la limpieza de la lámina de cobre y la cinta de magnesio se hizo con cuidado, el reloj comenzará a funcionar y permanecerá funcionando mas de veinticuatro horas.

La tensión que suministra esta pila, en las condiciones que hemos indicado, es del orden de 1,8 V.

#### **4. SISTEMAS ELECTROQUÍMICOS PRODUCTORES DE SUSTANCIAS (ELECTRÓLISIS)**

El término electrólisis procede etimológicamente de “electro” (electricidad) y “lisis” (desatar o romper). Es decir, hace referencia al hecho de romper enlaces químicos por acción de la electricidad. Para ello se necesita hacer pasar una corriente eléctrica por un electrolito.

Faraday, con la ayuda de su médico, que actuaba como asesor lingüístico, dio el nombre de electrólitos (de “litos” = piedra) a las piedras (sales o bases) que fundidas o disueltas conducían la corriente eléctrica. Al recipiente donde las colocaban lo denominaron cuba electrolítica. Para hacer llegar la energía eléctrica desde un generador de corriente continua (en aquel momento una pila) utilizaron unos conductores que llamaron “electrodos” (camino de la electricidad). Más complicado fue asignarle el nombre a los electrodos, para lo que Faraday debió de recurrir a la ayuda de un experto en lingüística, Wehewel (profesor de Cambridge) y después de varias propuestas y discusiones, la mayoría de las veces por carta, tomaron dos nombres etimológicamente muy acertados, aunque ellos no sabían muy bien lo que allí ocurría. Los eligieron de entre otros términos porque eran nombres que sonaban bien. Así eligieron “ánodo” y “cátodo”, conscientes de que, para ellos, el ánodo era “camino hacia arriba” y el cátodo era “camino hacia abajo”.

#### 4.1. Electrólisis de una disolución acuosa de yoduro de potasio

A nivel elemental consideramos adecuado, como ejemplo experimental de electrólisis, la de una disolución acuosa de yoduro de potasio, porque aprecian los cambios con facilidad. Para ello se necesita:

- 1 g, aproximadamente, de yoduro de potasio,
- una cápsula de unos 10 cm de diámetro o la parte inferior de una botella de plástico,
- dos trozos de cable de cobre, de varios hilos, de unos 15 cm de largo,
- un trocito de pan,
- un tubo de ensayo,
- Fenolftaleína,
- una pila de 4,5 V.

Después de observar las características del yoduro de potasio, conociendo que es un compuesto de cierto carácter iónico y soluble en agua, se coloca en la cápsula y se añade agua hasta un poco más de la mitad, comprobando que se disuelve rápidamente.

Se conectan los cables a la pila y los extremos libres se introducen en la cápsula con cuidado de que no se toquen.

Se comprobará que en el cátodo salen burbujas de un gas.

En el ánodo aparece una coloración rojiza que nos hace pensar en yodo y se puede comprobar introduciendo una esquina del trocito de pan y viendo que se pone de color morado muy oscuro, lo que indica la presencia de yodo.

El contenido de la cápsula tiene carácter básico lo que se comprueba con unas gotas de fenolftaleína.

#### 4.2. Galvanostegia

Para esta experiencia se necesitan:

- una moneda blanca muy limpia, o bien otro objeto metálico blanco (llave, etc.),
- una disolución 0,1 M de sulfato de cobre (II) con unas gotitas de ácido sulfúrico,
- una cápsula de, aproximadamente, 10 cm de diámetro,
- dos trozos de cable de cobre de varios hilos,
- una pila de 4,5 V.

Se puede hacer en el aula, en grupos, utilizando como cápsula la parte de abajo de una botella de plástico para que no sea necesario recogerla al final.

Se coloca la disolución en la cápsula, hasta aproximadamente la mitad. Se conecta uno de los extremos de cada cable a la pila, en el otro extremo, del que va unido al polo negativo, se introduce la moneda dando una especie de lazada,

colocándola dentro de la disolución. El otro extremo del cable unido al polo positivo se abre como si fuera una escobilla.

Según pasa el tiempo, la moneda se va recubriendo de cobre de color rojizo y la escobilla del ánodo va desapareciendo.

Puede ocurrir que, si no está bien limpia la moneda, se ponga negra porque se forma óxido de cobre (II) de color negro en lugar de cobre metálico. La presencia de ácido sulfúrico debe, en parte, disminuir la posibilidad de que aparezca el color negro. Si tiene manchas de grasa no se recubre de forma homogénea, al no ser la grasa conductora. Para que estos depósitos metálicos sean homogéneos y salgan bien, deben de utilizarse disoluciones diluidas e intensidades de corriente más bien bajas porque cuanto más lento sea es más probable de obtener un buen resultado. Una forma de conseguir que sea más lento es utilizando una disolución de una sal de cobre que lleve una sustancia que forme un ión complejo con el ión cobre (II), como pueden ser el tartrato de sodio y potasio o bien hidróxido amónico. Los alumnos pueden hacer una pequeña investigación sobre la influencia de los diferentes factores, pero en ese caso el trabajo se hará en el laboratorio.

## **5. SISTEMAS ELECTROQUÍMICOS REVERSIBLES: ACUMULADORES ELÉCTRICOS**

Para esta experiencia se necesita:

- un recipiente de plástico, puede ser la parte inferior de un botellín de unos 6 cm de diámetro,
- dos láminas de plomo, sino se tiene se pueden cortar dos trozos de una tubería vieja; el plomo es blando y fácil de cortar. En cada una se hace un orificio en un extremo y en el recipiente de plástico se hacen dos orificios próximos al borde, diametralmente opuestos. Se sujetan con los cables de cobre que se pasan por los dos orificios y se da una lazada, o bien se dividen los hilos del cable, se pasan la mitad por los orificios y después se vuelven a juntar,
- dos trozos de cable de cobre de unos 10 cm de largo con los extremos pelados,
- una pila de 4,5 V,
- un LED rojo,
- aproximadamente 2 g de sulfato de sodio disueltos en agua.

Se puede hacer por grupos en el aula.

Los alumnos deben comenzar por apoyar el LED en los extremos de los cables de cobre y comprobar que no funciona. Sin olvidar que la comprobación se debe de hacer apoyando primero de una forma y después de otra porque la corriente va en un solo sentido.

A continuación, se conectan los cables de cobre a una pila de 4,5 V durante, al menos, diez minutos. Si está cargándose se deben producir burbujas.

Se retira la pila, con cuidado de que no entren en contacto las láminas y se pone de nuevo el LED que ahora funcionará durante unos minutos.

## 6. PREGUNTAS RELACIONADAS CON LA VIDA DIARIA

Aparte de las experiencias expuestas anteriormente, se sugieren una serie de preguntas para plantear a los alumnos, mediante las que se relaciona la Electroquímica con actividades de la vida diaria:

1. La hojalata es hierro recubierto de estaño. Explicar por qué si se salta el estaño el recipiente hecho de hojalata se puede perforar rápidamente. ¿Dónde será menos estable en una atmósfera húmeda o en una seca?. ¿Dónde se estropeará antes, en Madrid o en un puerto de mar?.

2. El hierro galvanizado es hierro recubierto de cinc. Explicar por qué será muy estable en cualquier medio.

3. El dueño de una casa se ha dado cuenta de que le dejaron los canalones para recoger agua de lluvia demasiado cortos, estaban hechos de tubería de plomo y como no encuentra este tipo de tubería encarga que se los alarguen poniendo tubo de hierro. ¿Podrá tener algún problema?. Repetir la cuestión considerando que la tubería es de hierro y se completara con tubería de cobre.

4. Explicar la reacción de corrosión del hierro y por qué se activa con la humedad y con los iones cloruro.

5. ¿Cómo se debe de proteger el hierro cuando está a la intemperie?.

6. ¿Por qué se deben lavar los bajos del coche, con agua a presión, después de que en la ciudad haya habido una nevada importante?.

7. Con mucha frecuencia se utiliza en construcción, sobre todo para los marcos de las ventanas, aluminio anodizado. Es aluminio recubierto de una capa de óxido producida artificialmente. Teniendo en cuenta la palabra anodizado, indicar cómo se hará la producción industrial. ¿De qué color es este tipo de aluminio?. El óxido de aluminio es un gran absorbente de cualquier colorante. Diseñar un experimento para obtener aluminio anodizado en el laboratorio.

8. Si se cuelga un trozo de magnesio en una disolución de una sal de plomo, ¿se producirá algún cambio?. En caso afirmativo, describidlo. ¿Y si se cuelga un trozo de cobre en una disolución de nitrato de plomo?.

9. ¿Se estropeará una sortija de plata si la pone en contacto con la sal de cocina?.

10. ¿Se puede disolver el oro con HCl?. ¿Por qué?. ¿Y el hierro?. Lo que ocurre es una simple disolución o una reacción química. Si es una reacción, escribirla. ¿Qué se notará cuando se hace experimentalmente?.

11. Explicar razonadamente por qué se podrá limpiar un objeto de cobre sumergiéndolo en HCl sin tener ningún cuidado sobre el tiempo que se deja dentro.

12. En una disolución de sulfato de cobre se echan limaduras de aluminio y, aunque se caliente, no sucede nada; sin embargo, al echar unos cristales de sal gorda,

se produce una reacción de forma muy rápida. Escribid la reacción. Indicar qué sustancia aparecerá precipitada en el fondo del vaso. Explicar a qué se debe la diferencia de comportamiento. Escribir la reacción y, suponiendo que se puso aluminio en exceso, indicar cómo se conseguiría “disolverlo”, con algún producto corriente en el laboratorio, para que quede solamente el cobre que se había formado. Describir el aspecto de ese cobre e indicar si tiene el aspecto físico que se esperaba por ser un metal. En caso contrario, tratar de explicar por qué no.

13. ¿Por qué las monedas de 1 y 2 euros (cobre + níquel) producen tantos problemas de alergia y aún más si las manos están sudorosas?. ¿Explicar por qué en esas condiciones se forma una pila eléctrica?. ¿Qué iones entran rápidamente en contacto con la piel?.

## REFERENCIAS

1. M.T. Martín Sánchez y M. Martín Sánchez, *Trabajos experimentales de Química en una clase de nivel elemental*, Ed. I.C.E. de la Universidad de Salamanca (1986).
2. B. Shakashiri, *Chemical demonstrations*, Vol.4, Ed. Universidad de Wisconsin (1992).
3. D. Shaw, Silver Lightning, *Chem. Matters*, **1996**, September, 4.
4. J.B. Biot, *Traité de Physique Experimental et Mathématique*, 4 vol., Ed. Deterville, Paris (1816).
5. J.J. Berzelius, *Tratado de Química*, Tomo I, Traducido por Rafael Sáez y Palacios y Carlos Ferrari Scardini, Imprenta y Librería Ignacio Boix, Madrid (1845).



# QUÍMICA DE LOS CLOROISOCIANURATOS Y DESINFECCIÓN DEL AGUA

*Gabriel Pinto Cañón*<sup>1</sup>, *Brian Rohrig*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Química Industrial y del Medio Ambiente  
E.T.S. de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid  
José Gutiérrez Abascal 2, 28006-Madrid. gpinto@iqi.etsii.upm.es

<sup>2</sup> Aurora High School, Aurora, 44202-Ohio, U.S.A.

*Se presentan una serie de ejercicios para estudiar cuestiones de Química, como son: formulación, masa molecular, estequiometría, ecuaciones químicas, ajuste de ecuaciones, números de oxidación, cargas formales, reacciones ácido-base, tautomería, resonancia, agentes de cloración, y uso del cloro para la desinfección del agua, entre otras. Todas estas cuestiones se pueden abordar, al menos en parte, mediante la información que se ofrece en los envases de cloroisocianuratos, como el cloroisocianurato sódico (anhídrido o dihidratado) o el ácido tricloroisocianúrico, que se utilizan para desinfectar el agua. Estos productos se encuentran en droguerías e hipermercados. Se pretende que los profesores dispongan de otra herramienta para mostrar a sus alumnos el interés y versatilidad de las cuestiones de Química. Cada profesor debería adecuar los ejercicios propuestos al nivel de sus alumnos.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Se suele utilizar coloquialmente el término “cloro” como denominación genérica de lo que, en realidad, son diferentes compuestos de cloro. El cloro es un desinfectante que se ha usado para el tratamiento de aguas desde hace más de cien años (1). Su uso como desinfectante en agua potable y en piscinas es bien conocido (2,3). El propósito fundamental de la desinfección del agua es destruir organismos patógenos, con lo que se previenen enfermedades como fiebres tifoideas, cólera, disentería y hepatitis.

El cloro elemental se disuelve ligeramente en agua y se dismuta en ácido hipocloroso (HClO) y ácido clorhídrico (HCl):



Donde la constante de equilibrio (4), a 25 °C, viene dada por:

$$K = \frac{[\text{HClO}] \cdot [\text{H}^+] \cdot [\text{Cl}^-]}{[\text{Cl}_2]} \approx 4,5 \cdot 10^{-4} \quad (2)$$

El HClO es un ácido débil, que se disocia parcialmente:



La constante de disociación correspondiente (5), a 25 °C, es:

$$K_i = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{ClO}^-]}{[\text{HClO}]} = 2,9 \cdot 10^{-8} \quad (4)$$

El HClO es el principal desinfectante del agua. Se usa para matar bacterias y algas, por lo que se comporta como un biocida, mientras que el  $\text{ClO}^-$  es un agente oxidante fuerte. Así, el cloro como tal no es un desinfectante, sino en forma de HClO (para la sanitización) y de  $\text{ClO}^-$  (para la oxidación). En el equilibrio recogido en la ecuación 1 se observa la formación de HCl (ácido fuerte) en la hidrólisis de  $\text{Cl}_2$  disuelto, pero no es dañino para el ser humano por su baja concentración.

El pH del agua determina cuánto HClO, por la relación:

$$\frac{[\text{HClO}]}{[\text{HClO}] + [\text{ClO}^-]} = \frac{1}{1 + \frac{[\text{ClO}^-]}{[\text{HClO}]}} = \frac{1}{1 + \frac{K_i}{[\text{H}^+]}} \quad (5)$$

El cloro es más eficiente para pH 7,4-7,6. De acuerdo con la ecuación anterior, a altos valores de pH no se produce mucho desinfectante o HClO; dado que el cloro está mayormente como hipoclorito. Por ejemplo, a pH 7.0, el 78% del cloro existe como ácido hipocloroso, pero aumentando el pH hasta 8.0 se reduce la concentración de ácido hipoclorosos hasta sólo un 26%.

El  $\text{ClO}^-$  se reduce al anión cloruro, que es inactivo, cuando cumple con su tarea oxidante, según la semi-reacción:



Como desinfectante del agua, el cloro se presenta de diversas maneras (6,7): cloro gas (se distribuye como líquido a presión), cloroisocianuratos (dicloroisocianurato sódico o ácido tricloroisocianúrico), hipoclorito cálcico, hipoclorito de litio, e hipoclorito sódico. El Cloro libre disponible, conocido normalmente por el acrónimo FAC (del inglés *Free available chlorine*) en el tratamiento industrial de aguas, es una medida del poder oxidante o biocida del cloro activo en un componente, expresado en términos de cloro elemental, y se da normalmente en porcentaje en peso (6,8).

El cloro disponible combinado es el cloro existente en el agua combinado con amoníaco o compuestos orgánicos nitrogenados (como aminas y proteínas procedentes

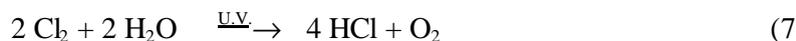
de suciedad, sudor y orina), que se conocen como cloraminas. Las cloraminas ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ,  $\text{NHCl}_2$  y  $\text{NCl}_3$ , entre otras) no presentan propiedades desinfectantes y causan problemas como irritaciones oculares o de la piel, así como olores desagradables en piscinas (9). Las cloraminas también se conocen como cloro residual combinado y deben suponer una cantidad mínima.

En la Tabla 1 se muestran las fórmulas de ciertos compuestos de cloro y el Cloro libre disponible correspondiente (5,6). Estos datos se pueden encontrar en las etiquetas de estos productos en los supermercados.

Tabla 1. *Fórmulas y Cloro libre disponible (FAC) de cloroisocianuratos comunes.*

<u>Sustancia</u>	<u>Fórmula química</u>	<u>FAC / % peso</u>
Cloro	$\text{Cl}_2$	100
Dicloroisocianurato sódico(NaDCC)		
anhídrido	$\text{C}_3\text{Cl}_2\text{N}_3\text{O}_3\text{Na}$	62-63
dihidratado	$\text{C}_3\text{Cl}_2\text{N}_3\text{O}_3\text{Na}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$	55-56
Ácido tricloroisocianúrico (TCC)	$\text{C}_3\text{Cl}_3\text{N}_3\text{O}_3$	89-91

La luz ultravioleta degrada el cloro por una reacción fotoquímica:



Si no se utiliza el ácido isocianúrico (1,3,5-triazina-2,4,6 (1H,3H,5H)-triona) como estabilizante, en un día soleado, el 90% del cloro activo se podría destruir por la acción del sol, en dos horas.

El dicloroisocianurato sódico (1,3-dicloro-1,3,5-triazina-2,4-diona-6-oxido dicloro), conocido por las siglas NaDCC, es el único tipo de cloro que no requiere la adición de neutralizante química o ácido isocianúrico, porque las disoluciones de NaDCC tienen un pH próximo a 7 y ofrecen la adecuada relación de cloro y estabilizante (ácido isocianúrico). Aparte de su uso en piscinas, el NaDCC es ampliamente utilizado para desinfección de biberones y lentes de contacto (10,11). El NaDCC es un oxidante que cuando se disuelve en agua se disocia en HClO (cloro libre) y ácido isocianúrico (estabilizante). Se vende en forma de granos y como tabletas (normalmente con base efervescente).

El ácido tricloroisocianúrico (tricloro-1,3,5-triazinotriona), conocido como TCC, se usa principalmente para agua de piscinas. Si no se usa adecuadamente puede ser causa de corrosión y deterioro de la piscina. Es necesario añadir unos 350 g de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (sosa) por cada kg de TCC utilizado. No requiere la adición de ácido isocianúrico.

A continuación se sugieren cuestiones de Química sobre los compuestos citados en esta introducción y sobre la cloración del agua.

## 2. CUESTIONES

### Cuestión 1.

Buscando en Internet, manuales de Química, libros de Química Orgánica, o catálogos de productos químicos, indicar la estructura química de los compuestos: NaDCC, TCC y ácido isocianúrico.

### Cuestión 2.

Según se indica en la Introducción, cuando se disuelve en agua el NaDCC, se descompone en ácido hipocloroso y ácido isocianúrico. Escribir la ecuación química correspondiente ajustada.

### Cuestión 3.

Si la reacción de la cuestión anterior es del tipo redox, calcular el número de oxidación de cada átomo y señalar las especies oxidantes y reductoras.

### Cuestión 4.

Repetir las cuestiones 2 y 3 para el TCC.

### Cuestión 5.

Explicar cuáles de las especies anteriores presentan resonancia o la posibilidad de tautomería.

### Cuestión 6.

Explicar por qué la disolución de NaDCC es neutra y la de TCC es ácida.

### Cuestión 7.

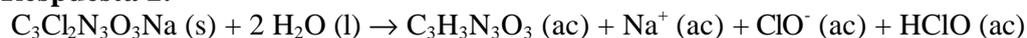
Deducir por estequiometría los valores de cloro libre disponible (FAC) mostrados en la Tabla 1.

## 3. RESPUESTA A LAS CUESTIONES

### Respuesta 1.

La estructura química de los compuestos se muestra en la figura 1.

### Respuesta 2.



(8)

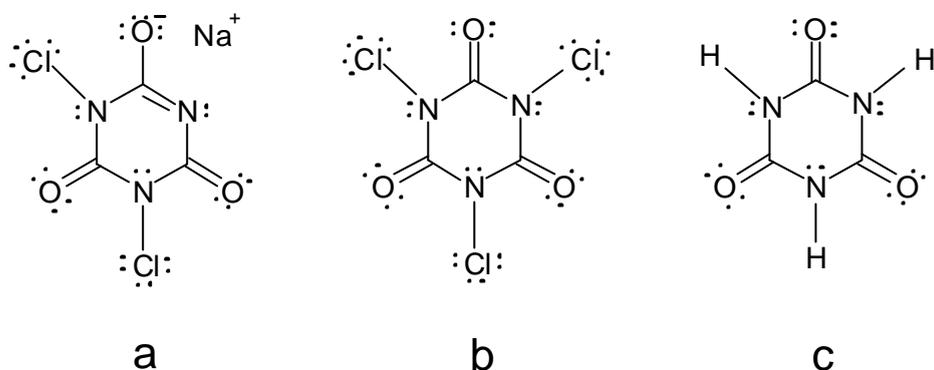
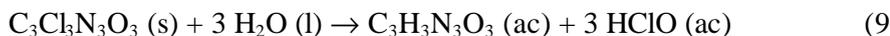


Figura 1. Estructuras químicas del dicloroisocianurato sódico (a), ácido tricloroisocianúrico (b), y ácido isocianúrico(c).

### Respuesta 3.

Para calcular los números de oxidación, se procede siguiendo el ejemplo que se resume con la Figura 2. Siguiendo el mismo procedimiento para la molécula de ácido isocianúrico, se concluye que en la reacción 8, dos átomos de N se reducen de -2 a -3, y dos átomos de Cl se oxidan de 0 a +1 (en la forma de HClO o ClO<sup>-</sup>). Así, dos átomos de N son agentes oxidantes y dos átomos de Cl son reductores.

### Respuesta 4.



Los tres átomos de N se reducen de -2 a -3, actuando como oxidantes, y los tres átomos de Cl son reductores, porque se oxidan de 0 a +1.

### Respuesta 5.

En el ácido isocianúrico y en el TCC, la resonancia no tiene importancia porque otras formas resonantes a las expuestas en la figura 1 tienen más cargas formales y por lo tanto contribuyen poco al híbrido de resonancia. Sin embargo, el anión dicloroisocianurato del NaDCC tiene resonancia, como se indica en la Figura 3.

Esta cuestión puede servir para aclarar la diferencia entre carga formal y número de oxidación (considerado en la cuestión 3). La carga formal es la calculada para cada átomo asumiendo que los electrones compartidos se distribuyen equitativamente entre los dos átomos enlazados, mientras que el número de oxidación asigna cada par de electrones compartido al átomo más electronegativo.

Las dos estructuras de la Figura 3 tienen la misma contribución al híbrido de resonancia. Otras posibles presentan más cargas formales, por lo que contribuyen menos al híbrido de resonancia. El ácido isocianúrico tiene tautomería con el ácido cianúrico, como se muestra en la Figura 4.

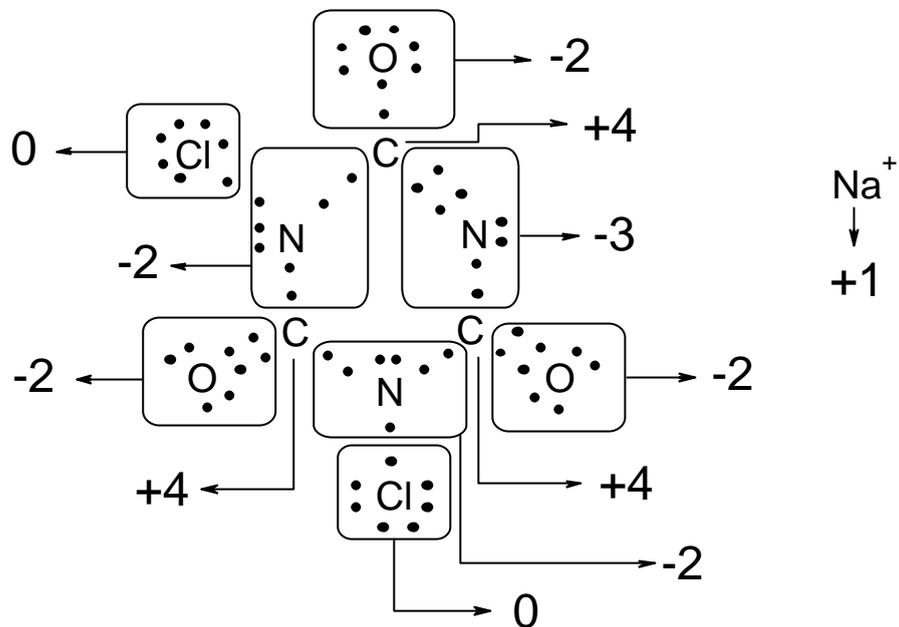


Figura 2. Ejemplo de asignación de números de oxidación para el NaDCC.

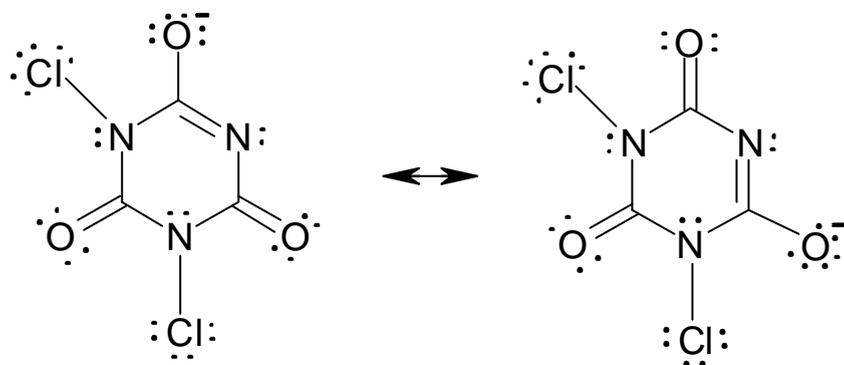


Figura 3. Estructuras resonantes del anión dicloroisocianurato.

**Respuesta 6.**

Como se demuestra en la ecuación 8, la disolución de NaDCC genera un ácido débil y una disolución amortiguadora de HClO y ClO<sup>-</sup>, pero la reacción 9 genera dos ácidos.

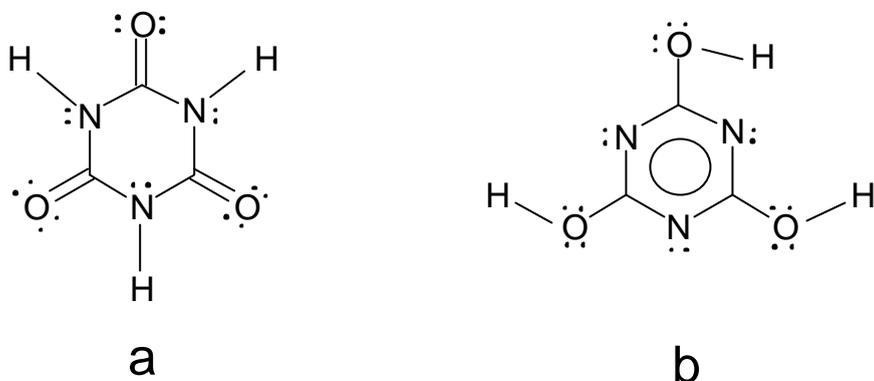


Figura 4. Tautomería del ácido isocianúrico (a) y el ácido cianúrico (b).

### Respuesta 7.

Los pesos moleculares son: NaDCC anhídrido (220,0 g/mol), NaDCC dihidratado (256,0 g/mol), TCC (232,5 g/mol) y ácido isocianúrico (129,1 g/mol). Tomando como ejemplo la reacción de disolución del NaDCC anhídrido descrita en la ecuación 8, y la equivalencia entre cloro ácido hipocloroso o hipoclorito de la ecuación 1, el FAC de 100 g de NaDCC anhídrido es:

$$\frac{100 \text{ g NaDCC}}{220,0 \text{ g/mol NaDCC}} \cdot 2 \frac{\text{mol} (\text{ClO}^- \text{ ó HClO})}{\text{mol NaDCC}} \cdot 1 \frac{\text{mol Cl}_2}{\text{mol} (\text{ClO}^- \text{ ó HClO})} \cdot 71 \text{ g/mol Cl}_2 = 64,5 \text{ g Cl}_2 \quad (10)$$

Como se observa en la Tabla 1, el valor tabulado es 62-63 %, es decir, ligeramente inferior al calculado. Procediendo de forma análoga, se llega a que el FAC de 100 g de NaDCC dihidrato es 55,5 g y para 100 g de TCC el valor es 91,6. En ambos casos estos valores son próximos a los de la tabla. Para el cloro, el FAC es 1000 % por definición.

### REFERENCIAS

1. Chlorine has saved countless lives:  
<http://www.esemag.com/0600/chlorine.html>
2. F.C. Hess, *Chemistry made simple*, Ed. Heinemann, London (1982).
3. T.L. Brown, H.E. leMay and B.E. Bursten, *Chemistry: the central science and media companion*, Ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey (2000).

4. Metcalf & Eddy, Inc., *Wastewater engineering: treatment, disposal, reuse*, Ed. McGraw-Hill, New York (1997).
5. G.C. White, *Handbook of chlorination*, Ed. Van Nostrand-Reinhold, New York (1985).
6. M. Bickford, Ed., *Kirk Othmer concise encyclopedia of chemical technology*, Ed. John Wiley and Sons, New York (1985).
7. Watercenter home page: <http://www.watercenter.com>
8. G. Pinto and B. Rohrig, *J. Chem. Educ.*, **2003**, Vol. 80, 41-44.
9. P. Borrows, *Ed. Chem.*, **1997**, Vol. 34, 120.
10. G.A.J. Ayliffe, D. Coates and P.N. Hohnman, *Chemical disinfection in hospitals*, Ed. Public health Laboratory Service, London (1993).
11. T.C.V. Mazzola and A.M.S. Martins, *BMC Infectious Diseases*, **2001**, Vol. 1, 16.

## ENSAYOS DIDÁCTICOS DE CORROSIÓN ELECTROQUÍMICA

*José Luis Mier, Ana Isabel García, Laura García,  
Fernando Barbadillo, Rosa María Losada*

Escuela Politécnica Superior de Ferrol. Universidade da Coruña  
Mendizábal s/n, 15403-Ferrol, A Coruña. jlmier@cdf.udc.es

*En el presente trabajo se proponen una serie de ensayos de fácil realización en un laboratorio de Bachillerato, que ponen de manifiesto los principios fundamentales de la corrosión electroquímica. En cada uno de ellos, se antepone una breve exposición teórica de la razón por la cual se producen los fenómenos observados.*

### 1. INTRODUCCIÓN

Se puede definir la corrosión como la reacción de un metal o aleación con el medio con deterioro de las propiedades metálicas. A causa de este fenómeno los metales pierden su estado elemental y retornan al estado combinado de origen. En términos químicos, el átomo metálico se transforma en ión, cediendo sus electrones a un no metal o metal que se reduce.

Existen dos mecanismos de corrosión:

- *Oxidación directa*, en la cual los átomos metálicos reaccionan directamente con la sustancia agresiva, afectando el proceso de una manera similar a toda la superficie metálica. Tiene una gran importancia práctica en las aplicaciones de metales y aleaciones a alta temperatura cuando no hay posibilidad de formación de una capa acuosa sobre la superficie metálica; por este motivo también se llama corrosión seca. En este mecanismo, la capa de productos de reacción que se forma sobre el metal actúa simultáneamente de conductor de iones y de electrones.

- *Corrosión electroquímica*, que se debe a la actuación de pilas electroquímicas en las que la disolución metálica sucede en las regiones anódicas. En este caso, el proceso no afecta por igual a toda la superficie, ya que en las regiones catódicas no hay ataque. Este tipo de corrosión se produce cuando los metales se encuentran en contacto con un medio conductor como el agua, disoluciones salinas o humedad atmosférica. En la corrosión electroquímica, los electrones viajan por el metal desde las regiones anódicas, donde se produce la oxidación metálica, hasta las catódicas, donde se produce la reacción de reducción, completándose el circuito eléctrico a través de una disolución de conductividad iónica o electrolito (figura 1).

## 2. CORROSIÓN GALVANICA

La unión eléctrica de metales de potenciales electroquímicos diferentes motiva la aparición de pares galvánicos en los que el metal más activo actuará anódicamente y sufrirá corrosión y el más noble actuará catódicamente, sin sufrir deterioro. Así, si se une cobre y zinc y existe, en contacto con ellos, un electrolito, el zinc, con un potencial de reducción menor, se oxidará:



Mientras que, sobre el cobre, se producirá la reducción de iones  $\text{Cu}^{2+}$ , si es que aparecen en el electrolito o bien cualquier otra sustancia oxidante que pueda captar los electrones que cede el zinc.

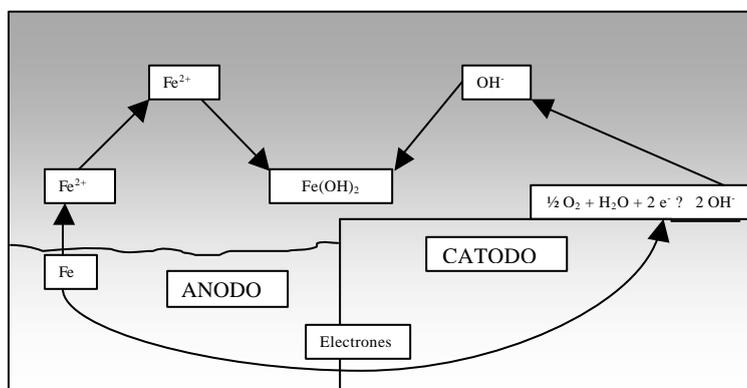
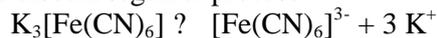


Figura 1. Esquema del proceso de corrosión electroquímica en un electrolito oxigenado.

### 2.1. Experimento 1

Este experimento pretende localizar qué metales funcionan como ánodo y cuales como cátodo, al formar determinados pares galvánicos. Para ello, se debe utilizar una solución indicadora que se obtiene disolviendo 10 g de NaCl y 1 g de ferricianuro potásico en agua destilada, añadiendo a la misma 1  $\text{cm}^3$  de solución alcohólica de fenolftaleína y completándose el volumen hasta 500  $\text{cm}^3$  con agua destilada. La solución alcohólica de fenolftaleína se prepara disolviendo 0,2 g de fenolftaleína en etanol hasta completar un volumen total de 100 ml.

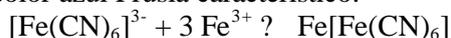
El ferricianuro se disocia según el proceso:



En este caso, el metal anódico es el hierro, que se disolverá dejando iones  $\text{Fe}^{3+}$  libres de acuerdo con la semirreacción:



De tal forma que, en contacto con los iones ferricianuro, formarán el ferricianuro férrico, de color azul Prusia característico:



Por el contrario, en las proximidades del metal de comportamiento catódico se producirá una alcalinización del medio como consecuencia de la formación de iones hidroxilo en la reducción de oxígeno, con lo que la fenolftaleína cambiará del incoloro al rosa. Así, en las proximidades del metal que funcione anódicamente aparecerá una tonalidad azul, mientras que en la zona catódica aparecerá una tonalidad rosa. Evidentemente, si el ánodo no es de hierro, la reacción de formación de ferricianuro férrico no tendrá lugar, pero al menos quedará identificado el cátodo.

La construcción de la pila  $\text{Fe} / \text{Fe}^{2+} // \text{Cu}^{2+} / \text{Cu}$  (figura 2) se realiza de la manera siguiente: se prepara una solución 1 M de  $\text{FeSO}_4$  y una solución 1 M de  $\text{CuSO}_4$  en las que se introducen una lámina de acero al carbono y otra de cobre, respectivamente, de las mismas dimensiones, que constituyen los electrodos de nuestra pila. A cada una de las soluciones se añade una pequeña cantidad de solución indicadora de ferricianuro potásico. Ambos electrodos se conectan a un milivoltímetro. El circuito eléctrico se puede cerrar utilizando un papel de filtro doblado cuyos extremos se sumergen en las soluciones antes indicadas. Antes de empezar el experimento, el papel de filtro debe estar completamente mojado con las disoluciones que hay en los electrodos, por capilaridad.

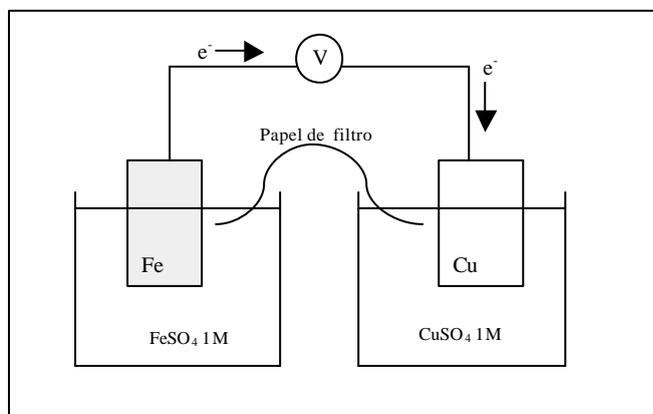


Figura 2. Pila galvánica  $\text{Fe} / \text{Fe}^{2+} // \text{Cu}^{2+} / \text{Cu}$ .

### 3. PILAS LOCALES DE CORROSIÓN

Se sabe que no es necesaria la presencia de dos metales para que aparezcan pilas de corrosión, puesto que éstas pueden originarse como consecuencia de heterogeneidades existentes en el propio metal; heterogeneidades físicas o del medio en el que se encuentre, como se indica en la tabla 1.

Tabla 1. *Clasificación de los distintos tipos de heterogeneidades que pueden dar lugar a fenómenos de corrosión en un metal, sin estar en contacto con otro.*

Heterogeneidad	Causa
En el metal	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fases dispersas en la matriz metálica de diferente composición química que ésta.</li><li>• Partículas contaminantes sobre la superficie.</li><li>• Segregaciones.</li><li>• Anisotropía de granos cristalinos.</li><li>• Bordos de grano.</li><li>• Dislocaciones emergentes.</li><li>• Zonas del metal deformado en frío.</li><li>• Discontinuidades en capas que recubren el metal.</li><li>• Zonas del metal sometidas a tensión y deformación elástica.</li></ul>
Física	<ul style="list-style-type: none"><li>• Diferencias de temperaturas.</li><li>• Corrientes vagabundas.</li></ul>
En el medio	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pilas de aireación diferencial.</li><li>• Pilas de concentración.</li><li>• Diferencias en el pH del medio.</li></ul>

#### 3.1. Experimento 2

A continuación, se explica la realización de un ensayo para la localización de zonas anódicas y catódicas en un metal que ha sido deformado en frío. Para ello, se utiliza el método químico expuesto anteriormente, que utiliza los cambios de color de la fenolftaleína y del ferricianuro potásico para su determinación. El primer paso consiste en preparar en un vaso de un litro, 500 ml de solución acuosa de NaCl al 3% y añadir 7 g de agar-agar, hirviendo ligeramente, a continuación, la solución resultante. Posteriormente, se coloca esta solución en 2 placas Petri, se añaden a cada una de ellas unas gotas de fenolftaleína y de ferricianuro, y se introduce, en cada una, un clavo de acero sin alterar, en unas de las placas, y un clavo de acero deformado en frío por doblado en uno de sus extremos, en la otra. Los efectos empiezan a observarse

aproximadamente a las dos horas. Cuando un metal se deforma en frío, se induce una gran cantidad de defectos cristalinos (dislocaciones y vacantes) en la zona afectada por la deformación. Estas zonas tienen comportamiento anódico, ya que los átomos están menos estrechamente enlazados con los átomos vecinos que los restantes de la red metálica y, para ellos, es más fácil abandonar la red metálica al tener menor energía de enlace. Por tanto, en la zona donde tuvo lugar la deformación en frío del clavo se formará el ferricianuro de hierro, con el color azul característico, mientras que en el resto, cuyo comportamiento es catódico, se presentará el típico color rosa debido al viraje de la fenolftaleína por el aumento del pH. Hay que decir que, en las zonas donde se ha llevado a cabo la mecanización del clavo (cabeza y punta), existe también un gran desorden atómico que hará que se comporten anódicamente. Este fenómeno se manifiesta más claramente en el clavo no deformado.

### 3.3. Experimento 3

Para ilustrar la influencia de la temperatura en la corrosión de un metal, se sumergen dos electrodos iguales (por ejemplo, de cobre) en una disolución 1 M de sus iones  $\text{Cu}^{2+}$ . La disolución de uno de los electrodos se calienta mediante una placa calefactora hasta ebullición, momento en el que se apaga y se pone un papel de filtro cuyos extremos están sumergidos en ambas disoluciones, con objeto de posibilitar la conducción iónica. Los dos electrodos se conectan a un voltímetro para medir la diferencia de potencial que hay entre ellos. Dicha diferencia de potencial indica que el electrodo que se encuentra a mayor temperatura se comporta anódicamente frente al otro. La influencia de la temperatura en el potencial se observará más adelante al estudiar la ecuación de Nernst.

Este fenómeno nos indica que la temperatura es una variable muy importante en sistemas de calefacción en donde pueden originarse puntos calientes que den procesos de corrosión. La temperatura tiene un papel importante en la corrosión marina: la corrosión de metales y aleaciones es más acusada en los mares tropicales que en los mares polares. Como casi todas las reacciones químicas, la corrosión se favorece con un aumento de la temperatura. Por regla general, la velocidad de corrosión debería duplicarse al aumentar la temperatura  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Sin embargo, esto no sucede así porque en la corrosión de sistemas naturales, no contaminados, la reacción que tiene lugar en el cátodo es la reducción de oxígeno y, al subir la temperatura, disminuye la solubilidad de dicho gas en agua, por lo que el aumento de la velocidad de corrosión no es tan acusado.

## 4. POTENCIALES DE ELECTRODO

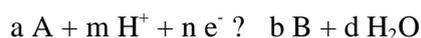
Las diferencias de potencial electroquímico son el origen de que unas regiones actúen anódicamente y otras lo hagan catódicamente. El conocimiento del potencial electroquímico de un electrodo es de la mayor importancia para interpretar el

mecanismo de la corrosión electroquímica. El potencial de un electrodo se establece como resultado del equilibrio entre dos tendencias: la de los átomos metálicos para dejar el metal y pasar a disolución y la de los cationes de para depositarse sobre el metal. Este equilibrio es dinámico y a él le corresponde una cantidad de intercambio de carga por equivalente que viene dado por la constante de Faraday, que representa la carga transportada por un mol de electrones y tiene un valor de 96493 C/mol. Como el potencial de un electrodo no es una magnitud absoluta, es necesario elegir un sistema como referencia; por convención se toma como electrodo de referencia estándar el sistema  $2\text{H}^+/\text{H}_2$ , o electrodo de hidrógeno, al que se le asigna un valor de potencial de 0.00 V. Este electrodo consiste en una placa de platino, que ha sido platinizada, sumergida en una disolución de protones de actividad unidad que se encuentra a 298 K y a la que se introduce gas hidrógeno, con una presión parcial de una atmósfera. Si se quiere medir el potencial estándar de un metal cualquiera  $\text{M}^{n+}/\text{M}$ , se tiene que construir otro electrodo formado por una placa del metal M sumergido en una disolución de sus iones  $\text{M}^{n+}$  de actividad la unidad a 298 K. Las placas de platino y metal M se conectan eléctricamente, a través de un conductor, por el que circulan los electrones, que a su vez está unido a un voltímetro, y por un puente salino por el que circulan los iones.

Ahora bien, es difícil encontrar en la realidad un metal que se encuentre en condiciones estándar, por lo que es útil obtener una expresión por la que se pueda medir el potencial de un electrodo fuera de tales condiciones. Esa expresión es la ecuación de Nernst que tiene la forma:

$$E = E^0 + \frac{2.3 \cdot R \cdot T}{n \cdot F} \left( \log \frac{[\text{A}]^a}{[\text{B}]^b} - m \cdot pH \right)$$

para una reacción general del tipo:



donde A es la especie oxidada, B la especie reducida, T la temperatura absoluta y R la constante de los gases (8,314 J/mol·K).

Sin embargo, el electrodo estándar de hidrógeno descrito anteriormente es un electrodo hipotético que no puede construirse en el laboratorio. La razón es que no se puede preparar una disolución con una actividad de hidrógeno igual a la unidad ya que no hay una teoría adecuada que permita la evaluación del coeficiente de actividad de los protones en una disolución en donde la fuerza iónica sea tan elevada como la unidad. Esta dificultad ha motivado el desarrollo de otros electrodos de referencia, como los indicados en la tabla 2, que cumplan la condición de mantener fijo su potencial respecto al de hidrógeno. Si se conocen los potenciales fijos de los electrodos de referencia respecto al de hidrógeno, es sencillo pasar las medidas obtenidas con aquellos electrodos a la escala de electrodo de hidrógeno.

Tabla 2. *Electrodos de referencia más utilizados y su potencial, con respecto al electrodo estándar de hidrógeno (SHE).*

Electrodo	SHE (V)
Calomelanos (Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> /Hg) en 0,1 N KCl	+ 0,334
Calomelanos (Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> /Hg) en 1,0 N KCl	+ 0,280
Calomelanos (Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> /Hg) en KCl saturado	+ 0,241
AgCl/Ag en 0,1 N KCl	+ 0,288
AgCl/Ag en 0,1 N KCl en agua de mar	+ 0,250
CuSO <sub>4</sub> /Cu	+ 0,316

Desde el punto de vista práctico, los medios agresivos en los que tiene lugar la corrosión muy pocas veces cumplen las condiciones de la escala estándar de potenciales. Esta es la razón de establecer escalas de potenciales referidas también a hidrógeno pero en distintos medios; precisamente aquellos en los que usualmente suelen aparecer los metales en sus aplicaciones más corrientes. A estas tablas de potencial se denominan series galvánicas. Así se establecen series galvánicas en agua de mar, agua dulce, suelos arcillosos, etc. Los valores de potencial son distintos a los correspondientes a la serie estándar pudiendo incluso alterarse el orden de nobleza o actividad de determinado metales y aleaciones.

La medición de los potenciales de electrodo se puede realizar fácilmente en un laboratorio con un electrodo de cobre/sulfato de cobre (figura 3). Para construir este electrodo, se necesita tubo de plástico (polietileno o polipropileno), sin fondo, al que se le introduce a través de un tapón un hilo de cobre que se conecta a un voltímetro. El hilo de cobre está sumergido en una disolución saturada de sulfato de cobre. El fondo del tubo de plástico se cierra con un material poroso como lana de vidrio, por ejemplo, para facilitar la circulación de los iones. El electrodo de referencia y el electrodo problema, que también se conecta al voltímetro, se sumergen en la misma disolución. Con este dispositivo se pueden realizar los siguientes experimentos:

#### **4.1. Experimento 4: Medida de potenciales normales para el zinc y el cobre**

Se prepara una disolución 1 M de SnCl<sub>2</sub> y una disolución 1 M de ZnSO<sub>4</sub>. Se forman las pilas Cu / CuSO<sub>4</sub> // Sn / SnCl<sub>2</sub> y Cu / CuSO<sub>4</sub> // Zn / ZnSO<sub>4</sub> y se mide la diferencia de potencial entre sus correspondientes semielementos. Se refiere el potencial de los semielementos Sn<sup>2+</sup>/Sn y Zn<sup>2+</sup>/Zn a la escala normal de hidrógeno.

#### 4.2. Experimento 5: Medida de potenciales de disolución o galvánicos

Se prepara una disolución acuosa de NaCl al 3% y probetas de acero, zinc, aluminio, estaño, plomo y cobre, que se sumergirán separadamente en esta disolución. Se mide el potencial de disolución de cada metal frente al electrodo de referencia Cu/CuSO<sub>4</sub>.

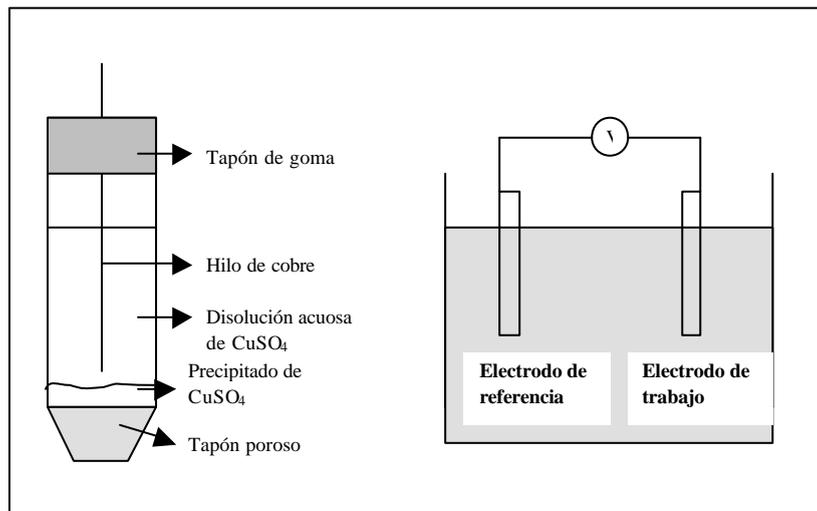


Figura 3. Montaje del electrodo de referencia Cu/CuSO<sub>4</sub>.

#### BIBLIOGRAFÍA

1. J. A. González, *Teoría y práctica de la lucha contra la corrosión*, C.S.I.C. Madrid (1984).
2. E. Otero, *Corrosión y degradación de materiales*, Ed. Síntesis, Madrid (1997).
3. ASM Handbook, *Vol 13: Corrosion*, ASM Internacional, Materials Park, Ohio (1992).

## EMBELLECIMIENTO DE OBJETOS DE LA VIDA COTIDIANA

*Hervilia Seco Lago*<sup>1</sup>, *Julia Pérez Iglesias*<sup>2</sup>, *José M<sup>a</sup>. Fernández Solís*<sup>2</sup>,  
*Victoria González Rodríguez*<sup>2</sup>, *Elena González Soto*<sup>2</sup>,  
*J. Manuel Castro Romero*<sup>2</sup>, *Elia Alonso Rodríguez*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> I.E.S. Leixa, San Pedro de Leixa s/n, 15045-Ferrol. hseco@edu.xunta.es

<sup>2</sup> Departamento de Química Analítica, Escuela Politécnica Superior de Ferrol, Universidade da Coruña, Mendizábal s/n, 15403-Ferrol, A Coruña

*En este trabajo se presenta una práctica de laboratorio que se puede realizar en distintas asignaturas de Química, aplicando la electrodeposición al recubrimiento de objetos de la vida cotidiana, con el fin de que los alumnos relacionen sus conocimientos químicos con el mundo que les rodea.*

### 1. INTRODUCCIÓN

Hay numerosos objetos utilizados en la vida cotidiana cuya apariencia no se corresponde con su naturaleza; por ejemplo: aquéllos que parecen de plata, y simplemente están recubiertos de una fina capa de este metal, como las cuberterías de cocina, los cromados en la grifería, el oro depositado sobre joyas y en contactos eléctricos, o los niquelados en piezas de la industria del automóvil. Las “latas” de hojalata son de acero, con estaño depositado electrolíticamente; a veces, son latas revestidas, en 1/3 de segundo, mediante una película extremadamente delgada de cromo (1).

Estos recubrimientos se consiguen mediante una aplicación electrolítica: la electrodeposición.

Para obtener un buen depósito electrolítico, esto es, de espesor uniforme y bien adherido, hay que controlar muchos factores; entre otros: la diferencia de potencial entre los electrodos, la intensidad de la corriente eléctrica, la pureza y concentración de la disolución electrolítica, la temperatura a la que se lleva a cabo el proceso, y la limpieza del objeto a recubrir. Los mejores depósitos electrolíticos, es decir, los muy adherentes y de grano muy fino (que además de ser más atractivos son mucho más duraderos), se obtienen, generalmente, utilizando disoluciones electrolíticas muy diluidas e intensidades eléctricas muy pequeñas. Para conseguir electrólitos muy diluidos en los iones a depositar, suelen formarse iones complejos. Así por ejemplo, se añade cianuro potásico, que forma el complejo  $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$  en los baños de platear, y amoníaco en los de niquelar, con lo que se forma el complejo  $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$  (2).

En el laboratorio, los alumnos pueden llevar a cabo el recubrimiento de un objeto de uso frecuente, como un clip, con cobre. El material utilizado para esta práctica es de uso común, por ejemplo, el cobre se puede obtener de los cables del

tendido eléctrico de las viviendas o de las láminas de este metal utilizadas en manualidades.

## 2. FUNDAMENTO TEÓRICO

La electrodeposición consiste en el depósito de una lámina fina de metal de unos 0,02 mm de espesor sobre una superficie conductora de la electricidad, lo que se puede conseguir mediante un proceso de electrólisis.

La electrodeposición de cobre es uno de los ejemplos más sencillos. El metal que se quiere recubrir se coloca como cátodo, y como ánodo se pone un electrodo de cobre. La disolución en que se sumergen ambos electrodos contiene una sal de  $\text{Cu}^{2+}$ , como puede ser  $\text{CuSO}_4$  (3).

En el ánodo se produce la semirreacción de oxidación:



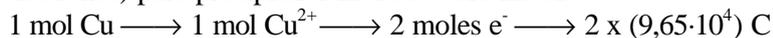
En el cátodo se produce la semirreacción de reducción:



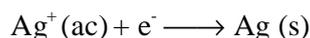
A medida que se deposita cobre sobre el cátodo, van pasando iones de  $\text{Cu}^{2+}$  a la disolución, desde el ánodo, manteniendo constante la concentración de  $\text{Cu}^{2+}$ . Por lo tanto, en este proceso no existe una reacción neta, sino que hay simplemente una transferencia de cobre desde el ánodo hasta el cátodo.

La cantidad de sustancias liberadas en los electrodos durante la electrólisis está en relación con la carga total que ha fluído en el circuito eléctrico. Si se observan las semirreacciones de los electrodos, la relación es estequiométrica, como se puede ver en los siguientes ejemplos.

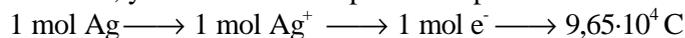
En el proceso catódico, con un mol de iones  $\text{Cu}^{2+}$  reaccionan 2 moles de electrones, siendo necesarios 2 faradays (1 faraday,  $9,65 \cdot 10^4$  coulombios, equivale a la carga de 1 mol de electrones) para precipitar 1 mol de cobre metal:



Para cada metal, depende de su semirreacción de reducción, como por ejemplo:



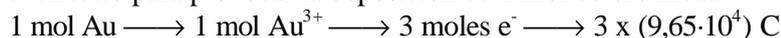
Cuando un mol de electrones reacciona con 1 mol de iones plata, pasa un faraday a través del circuito, y un mol de metal plata es depositado en un electrodo:



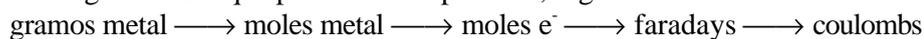
En el caso del oro:



Con un mol de iones  $\text{Au}^{3+}$  reaccionan 3 moles de electrones, pasando 3 faradays a través del circuito para provocar la deposición de 1 mol de oro metal:



Por tanto, si se conoce la cantidad de sustancia precipitada, se puede saber la cantidad de carga eléctrica que provocó su deposición, según la relación:



Sabiendo además que:

carga eléctrica = corriente eléctrica (intensidad) x intervalo de tiempo  
(unidades: coulombs = amperios (=coulombios / s) x segundos),

a partir de la carga eléctrica y del tiempo de electrólisis, se puede determinar la intensidad de corriente. Y viceversa: si se conoce la intensidad de corriente y el tiempo de electrólisis se puede calcular la carga eléctrica y, por lo tanto, la cantidad de sustancia producida en un electrodo.

### 3. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA

Los objetivos principales son dos:

- Provocar la electrodeposición de una capa de metal para recubrir un objeto metálico de naturaleza distinta por electrólisis y cuantificar la cantidad depositada mediante gravimetría.

- Calcular la carga y la intensidad de corriente necesarias para provocar la deposición de una cantidad concreta del metal.

#### 3.1. Material y reactivos necesarios

Los materiales necesarios para la práctica se muestran en la Figura 1.



Figura 1. *Materiales necesarios: pila, cables, objeto a recubrir, lámina de cobre, vaso de precipitados y disolución 1,0 M de sulfato de cobre, CuSO<sub>4</sub>.*

### 3.2. Parte experimental

Se pretende determinar, experimentalmente, la cantidad de cobre metal que se deposita sobre el objeto problema, cuando se somete a electrólisis en una disolución acuosa de  $\text{CuSO}_4$  1,0 M, haciendo pasar una corriente constante durante 30 min y en presencia de un electrodo de Cu metal como ánodo.

• Procedimiento:

- Se pesa el objeto que se quiere recubrir.
- En el vaso de precipitados se introduce la disolución de  $\text{CuSO}_4$  1,0 M.
- Se conecta la lámina de cobre, mediante un cable, al polo positivo de la pila voltaica.
- Se conecta el objeto a recubrir, mediante un cable, al polo negativo de la pila voltaica.
- El objeto a recubrir y la lámina de cobre se introducen en la disolución de  $\text{CuSO}_4$ .
- Transcurridos 30 minutos se desconecta la pila.
- Se retira el objeto recubierto de cobre y se lleva 5 minutos a la estufa.
- Una vez frío se pesa y, por diferencia, se determina la cantidad de cobre que se ha depositado sobre el objeto.
- La disolución de sulfato de cobre  $\text{CuSO}_4$  se recoge de nuevo en el recipiente para reutilizarla. Finalmente, se lava el material.

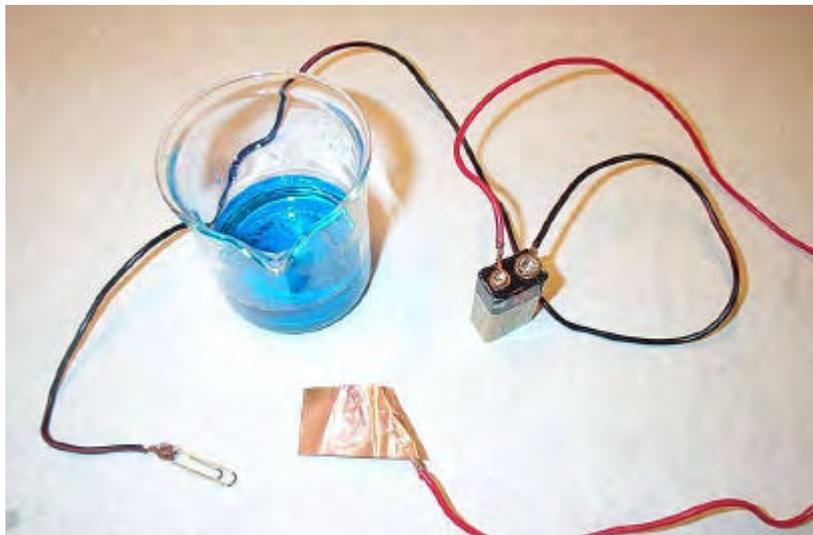


Figura 2. *Dispositivo experimental.*

A partir de los datos experimentales, se calcula la carga necesaria para realizar la deposición y la intensidad de corriente que circuló durante el proceso de electrólisis.



Figura 3. *Desarrollo de la electrodeposición.*



Figura 4. *Resultado de la electrodeposición.*

## REFERENCIAS

1. K.W. Whitten, R.E. Davis y M.L. Peck, *Química General*, Ed. McGraw-Hill, Madrid (1998).
2. S. Esteban y R. Navarro, *Química General*, Ed. U.N.E.D., Madrid (1991)
3. W.L. Masterton, E.J. Slowinski y C.L. Stanitski, *Química General Superior*, Ed. McGraw-Hill, México (1991).



## CONSTRUCCIÓN DE UN MINIAPARATO DE ELECTROFORESIS A PARTIR DE OBJETOS DE USO COTIDIANO

*Ana Elizabeth Domínguez Pérez, Marta Rodríguez Pérez*

Departamento de Química Inorgánica, Universidad Nacional Autónoma de México  
04510-México, D.F. roperez@servidor.unam.mx

*Se emplean sustancias y objetos de uso cotidiano, como grafito para lapiceros y pilas comerciales, para la construcción de un aparato de electroforesis simplificado y a mini escala. Este dispositivo se puede emplear para iniciar la construcción de conceptos abstractos, como acidez y basicidad, uso de indicadores, hidrólisis, migración de partículas cargadas (electroforesis), a partir de fenómenos observables como son los cambios de color. Se presentan muestras de ejercicios realizados con estudiantes de los primeros semestres de la licenciatura en Química de la U.N.A.M..*

### 1. INTRODUCCIÓN

Una de las formas de trabajo que se han utilizado para despertar el interés de los estudiantes en el área de las ciencias, consiste en tratar de relacionar éste campo con acontecimientos, sustancias y aparatos de la vida cotidiana, cuya cercanía puede ayudar para que se inicie la construcción de algunos conceptos básicos.

La presentación de conceptos químicos, que se hace tradicionalmente desde la exposición verbal y teórica en clase, ha mostrado que es difícil de comprender para un sector importante de estudiantes (1).

Hay algunas propuestas que demuestran que estas dificultades de comprensión están relacionadas con la capacidad de abstracción, en muchos casos no desarrollada suficientemente, por lo que sería aconsejable partir de la observación de aspectos concretos, como pueden ser las actividades y los ejercicios de laboratorio, y propiciar, a partir de ello, la búsqueda de explicaciones y la formulación de hipótesis de lo que ocurre a escala microscópica (1,2).

Así, una de las tareas más importantes de los docentes será la de buscar y diseñar actividades a partir de las cuales sea posible presentar manifestaciones tangibles de fenómenos microscópicos no observables de manera directa, para contribuir con ello a una mejor aproximación en la construcción de modelos alternativos, correspondientes a conceptos abstractos.

De acuerdo con todo esto se diseñó un mini aparato simplificado para electroforesis. Considerando algunos propuestos por otros autores (3,4), se emplearon objetos de uso cotidiano, como el grafito para lapiceros y pilas de 9 y 12 V. Este dispositivo se puede utilizar para introducir temas como hidrólisis, acidez y basicidad, uso de indicadores, migración de partículas cargadas (electroforesis) y otros.

La construcción es fácil y de bajo costo, con lo que se puede solicitar a cada estudiante que construya y opere su propio aparato y esto parece agregar interés y mayor participación.

## 2. ELECTROFORESIS

Uno de los trabajos más antiguos sobre estudios de desplazamiento de sustancias a través de un campo eléctrico está firmado por Reuss (5) quien, en 1809, observó que, al hacer pasar la corriente a través de dos tubos de vidrio llenos de agua y colocados verticalmente en un lecho de arena húmeda, se producía un enturbiamiento en el tubo que contenía el polo positivo, debido a la migración de pequeñísimas partículas de arena que adquirían carga eléctrica durante el paso de la corriente.

En 1853 Hittorf publicó un trabajo sobre el estudio de la medida de la movilidad de las partículas por la acción de la corriente eléctrica. Unos treinta años después, Lodge y Arrhenius publicaron trabajos sobre el uso de la gelatina como estabilizante y el comportamiento de iones inorgánicos.

Entre 1924 y 1927 Kendall hizo estudios sobre separación de isótopos, tierras raras, o zirconio y hafnio, aplicando métodos electroforéticos.

Alrededor de 1937, König propuso el empleo de papel de filtro como medio de soporte para la electroforesis y en 1939, junto con Von Klobusitzky, publicó un trabajo sobre la separación electroforética del veneno de serpiente yarará, en el que emplearon trozos de papel de filtro, denominando a sus técnicas como electrocapilograma y electrocromatografía.

La combinación de cromatografía y electroforesis ha resultado de gran utilidad, sobre todo para separar sustancias que tienen iguales coeficientes de absorción pero diferente comportamiento electroforético. A esta asociación de técnicas se denomina electrocromatografía.

A partir de 1955 empezaron a publicarse los primeros libros sobre el tema.

La electrotransportación de partículas cargadas, cuando están en solución, a través de un campo eléctrico, ha recibido diferentes nombres según los autores, variantes y aplicaciones diversas de la técnica (6).

Uno de los primeros términos, empleado por Hardy fue cataforesis; más tarde se introdujo el de electroforesis. Este término, en general, se refería a migración de partículas de elevado peso molecular y el de ionoforesis se aplicaba al desplazamiento de iones pequeños.

Otros términos empleados fueron: análisis capilar (para papel filtro), electroferografía, electropapirografía, electrocromatoforesis, electrocromatografía, etc. Sin embargo, el que resulta ser más universalmente aceptado es el de electroforesis, acompañado del nombre del material de soporte, por ejemplo electroforesis en papel, electroforesis en geles, etc.

### 3. CONSTRUCCIÓN DEL MINIAPARATO

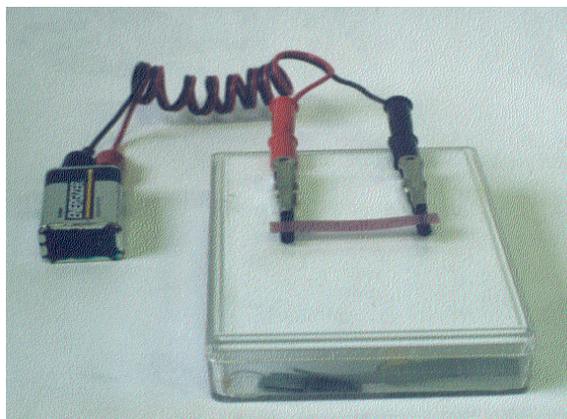


Figura 1. *Un modelo de mini aparato de electroforesis.*

En el aparato de electroforesis simplificado se han eliminado los recipientes para contener electrolitos y el material de soporte son tiras de papel filtro. Los electrodos son de grafito, pero pueden ser de otros materiales como alambre de cobre ó platino.

Los materiales que se requieren son: pinzas dentadas (caimanes) para pasar corriente con cable, una pila de 12 V y otra de 9 V, tiras de papel de filtro de 1cm de ancho y 8 cm de largo, grafito para lapiceros de diferentes calibres y 5 cm de largo.

Para ensamblar el aparato, se colocan dos electrodos de grafito sostenidos por las pinzas dentadas y se fijan sobre un soporte que permita mantenerlos a la misma altura, sobre la superficie de trabajo y en forma paralela. El cable de cada pinza se conecta a cada uno de los polos de la pila o fuente de poder.

### 4. OPERACIÓN DEL MINIAPARATO

Las tiras de papel pueden ser preparadas por los estudiantes o bien utilizar papeles indicadores comerciales. Para preparar las tiras se requieren soluciones de azul de tornasol, indicador universal u otros indicadores de que se disponga; en todo caso hay que prepararlas con algunos días de anticipación pues en el momento de usarse han de estar secas.

Se marca con lápiz en los extremos de la tira un signo (+) y uno (-), según el polo al que esté conectada la pinza correspondiente. Posteriormente, se humedece ligeramente la tira con agua destilada, lo cual puede hacerse con un gotero de punta fina o un capilar para evitar el exceso de líquido. En caso de exceso de líquido, se puede eliminar presionando la tira entre hojas de papel filtro.

Una vez humedecida la tira de papel, se coloca sobre los electrodos de manera que quede suspendida entre ellos, sin tocar ninguna otra superficie, y se conectan los cables. Se permite la acción de la corriente durante cinco a diez minutos, tiempo después del cual podrán observarse cambios de color en las tiras.

A partir de aquí pueden hacerse nuevos intentos, probando con modificaciones de voltajes, calibres de electrodos, tiempo de exposición, distancia entre los electrodos y otras variables que se decida observar.

## **5. COMENTARIOS**

La migración electroforética de partículas se puede modificar por la incidencia de algunos factores como evaporación, capilaridad (poro del papel), temperatura y otros, que tienen efecto sobre la migración y velocidad de los desplazamientos de partículas en el campo electroforético. Sin embargo, todos estos factores se ven considerablemente reducidos gracias a las pequeñas dimensiones del dispositivo que aquí se propone.

Es conveniente que, una vez familiarizados con los conceptos y experiencias electroforéticas, se les proporcione a los alumnos la posibilidad de conocer un aparato profesional en operación.

## **6. CONSIDERACIONES PEDAGÓGICAS**

A partir del uso de dispositivos como el que aquí se describe, se puede acceder a una amplia gama de aprendizajes que van desde el desarrollo de habilidades motoras de coordinación fina hasta ejercicios de abstracción y de observación.

Es muy importante que, a partir del análisis de lo observado, puedan plantearse preguntas y se intente dar explicaciones que lleven a descubrir, o a comprender mejor lo que ocurre con la electrólisis del agua y el comportamiento de  $H^+$  y  $OH^-$  como partículas cargadas en un campo electroforético.

De los cambios de color de los papeles indicadores de acidez y basicidad puede inferirse cuál es el papel de estas sustancias, tan comúnmente empleadas en diversos experimentos.

Hay muchas posibilidades de aplicación de esta técnica. Por ejemplo, la ionoforesis de soluciones incoloras (como nitrato de plomo) que posteriormente al tratamiento se “revelan” con reactivos que produzcan color (yoduro de potasio para el nitrato de plomo), indicando la posición de por lo menos uno de los iones en estudio (que aparecerá en la tira hacia la zona en que haya migrado).

La ventaja de jugar con las diversas variables es permitir la introducción de uno de los aspectos más frecuentes que permiten regular avances de los trabajos de investigación.

En resumen, y con base en la experiencia docente propuesta, se propone:

- Propiciar el diseño de estrategias de enseñanza-aprendizaje como estrategias educativas que permitan incrementar el interés de docentes y estudiantes para lograr el avance en la construcción de conceptos básicos.
- Que, a partir de actividades que permitan la observación macroscópica, se intente la formulación de explicaciones a nivel microscópico y, por tanto, propiciar ejercicios de abstracción.
- Que el experimento o el ejercicio de laboratorio se tomen como punto de partida para intentar la construcción de conceptos abstractos por medio de la reflexión, la confrontación y la explicación.

Todo esto promoverá el desarrollo del pensamiento hipotético-deductivo, que se considera como herramienta esencial en la construcción de los saberes técnico científicos.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. J.D. Herron, *J. Chem. Educ.*, **1975**, Vol. 52, 146-50.
2. R. Good, *J. Chem. Educ.*, **1978**, Vol. 55, 688-93.
3. E.L. Durrum, *J. Am. Chem. Soc.*, **1950**, Vol. 72, 2943-48.
4. J.D. Herron, *J. Chem. Educ.*, **1969**, Vol. 46, 527.
5. M. Lederer, *An Introduction to paper electrophoresis and related methods*, 2<sup>nd</sup> impression, Ed. Elsevier, Amsterdam (1957).
6. *Electrophoresis Theory*, Bio-Rad Laboratories Brochure of January (1982).



## QUÍMICA DIVERTIDA: EXPERIENCIAS DE CÁTEDRA QUÍMICA PARA ESTUDIANTES DE NIVEL MEDIO

*Consuelo García Manrique, Guillermina Salazar Vela,  
Michelle Hernández Arganis, Joaquín Barroso Flores*  
Departamento de Química Orgánica, Facultad de Química  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Ciudad Universitaria s/n, Delg. Coyoacan, 4510-México D.F.  
cgarcía@servidor.unam.mx

*Para muchos estudiante de bachillerato la Química es una materia árida e inútil y para los de nivel básico la palabra Química suele resultar ajena e incomprensible. El presente trabajo tiene como propósito despertar el interés y el gusto hacia la Química en los alumnos que están en la etapa adolescente, mediante una presentación donde, a través de ejemplos y experiencias de cátedra sencillas y divertidas, se puedan ilustrar y relacionar con la vida cotidiana, algunos principios básicos como: concepto de Química y materia, cambios químicos y físicos, reacciones ácido-base, de oxidación-reducción y polimerización.*

### 1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos tiempos el pensamiento y el sentir de las personas ajenas a la Química ha tendido a ser negativo. La sociedad en general tiene la creencia de que es una ciencia nociva, destructiva y dañina. La relacionan con contaminantes, explosivos, armas nucleares, o creen que los conservadores utilizados en la industria de los alimentos y los medicamentos que nos alivian de las enfermedades, al no ser de origen natural y contener “sustancias químicas”, son tóxicos para el organismo.

Por esto, es fundamental explicarles que la Química forma parte de nuestro entorno, de nuestra vida cotidiana, de nuestro cuerpo; nos explica los fenómenos que ocurren a nuestro alrededor y nos ayuda a aprovecharlos en nuestro beneficio.

Ejemplos muy sencillos de esto son los procesos mediante los cuales se fabrican las telas con las que se confecciona la ropa que usamos (que pueden ser de fibras sintéticas o naturales), la obtención de productos de limpieza como los jabones y detergentes, los productos de belleza, las medicinas para combatir enfermedades y mitigar el dolor, o la combustión de la gasolina para que se muevan los automóviles. Incluso al cocinar los alimentos que ingerimos diariamente, estamos realizando Química. Nosotros mismos respiramos, nos movemos y hablamos gracias a procesos químicos que ocurren dentro de nuestro cuerpo.

Por lo anterior, y con el propósito de fortalecer y dignificar la imagen de la Química, e incidir en la población de alumnos adolescentes para fomentar el interés y

el estudio de esta ciencia tan importante, se diseñó este conjunto de experiencias de cátedra química, relacionándolas con ejemplos de la vida cotidiana.

## **2. OBJETIVOS**

Los objetivos fundamentales con estas actividades son:

-Introducir a los estudiantes de nivel medio y medio superior al estudio de la Química, mediante experiencias de cátedra sencillas, llamativas y divertidas, relacionándolas con ejemplos de la vida cotidiana.

- Despertar el interés de la población estudiantil en edad adolescente hacia la Química.

- Mejorar la imagen de la Química.

## **3. METODOLOGÍA**

El presente proyecto se llevó a cabo a través de las siguientes etapas:

- Determinación de los conceptos químicos que se quieren transmitir.
- Consulta bibliográfica para seleccionar el material que ilustre los conceptos químicos que deseamos presentar, tomando en cuenta que sean experiencias de cátedra de fácil realización, llamativas, divertidas y que no pongan en riesgo la seguridad de los alumnos.
- Realización en el laboratorio de las experiencias de cátedra para comprobar su reproducibilidad.
- Diseño y estructuración del formato de la presentación y el guión a seguir.
- Presentación de las experiencias de cátedra en colegios de la ciudad de México y en la Expo-Química 2001.

### **3.1. Conceptos químicos**

Los conceptos que se abordan son:

1. Definición de Química y materia; estados de agregación de la materia, y cambios físicos y químicos.

2. Concepto de reacción química e ilustración de algunos de los cambios químicos que sufre la materia mediante las siguientes reacciones:

- i. ácido-base,
- ii. de oxido-reducción,
- iii. de polimerización.

### **3.2. Experiencias de cátedra seleccionadas**

1. Cambios físicos y cambios químicos:

- Columna de CO<sub>2</sub>.

- Flor de vidrio.
- Vapores de yodo.
- Espuma de carbón.
- Lluvia de oro.
- Pasta de dientes para elefantes.

## 2. Concepto de reacción química:

### a) Reacciones ácido-base:

- Reacciones de neutralización e indicadores ácido-base.
- Inflado químico de un globo.

### b) Reacciones de oxido-reducción:

- Resplandor azul.
- Juegos de fuego.
- Nieve en alambres.
- Oxidación y reducción del cobre.

### c) Reacción de Polimerización:

- La pelota que rebota.

Aunque todos los experimentos anteriores fueron diseñados y reproducidos en el laboratorio, en el presente trabajo vamos a mostrar sólo una experiencia de cátedra por cada concepto que deseamos ilustrar.

## 4. PRESENTACIÓN

La Química es la Ciencia que estudia la materia, su comportamiento y sus transformaciones. La materia es todo aquello que ocupa un lugar en el espacio; por ello, todo lo que existe a nuestro alrededor está formado de materia.

La materia se presenta en tres formas principales: sólido, líquido y gas. A estas tres formas de la materia se les llama “estados de agregación de la materia”. Algunos ejemplos son : sólido-piedra, líquido-agua y gas-aire.

La materia sufre cambios y éstos pueden ser clasificados como físicos ó químicos. Un cambio físico es aquel en el cual la materia cambia su apariencia pero no su composición; es decir, sigue siendo la misma materia y no cambian sus propiedades. Un ejemplo de esto es lo que sucede al colocar un vaso con agua en el congelador; en el que el agua se convierte en hielo y, si lo calentamos hasta que hierva, se vuelve vapor. El hielo y el vapor siguen siendo agua pero en diferente estado físico de la materia.

### 4.1. Demostración experimental: Columna de CO<sub>2</sub>

*Observaciones:* Dos probetas, una llena con un líquido amarillo, la otra con un líquido rosado y ambas burbujeando vigorosamente.

*Procedimiento:* Se llenan las probetas con agua; en una se disuelve dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) y en la otra permanganato de potasio ( $KMnO_4$ ), para dar color a las soluciones, amarillo y rosa, respectivamente. Finalmente se adicionan pedazos de hielo seco a cada probeta.

*Explicación del experimento:* El agua de las probetas, que se encuentra a temperatura ambiente, tiene mayor temperatura que el hielo seco; por lo tanto, al entrar en contacto ambos, el sistema tiende a alcanzar un equilibrio térmico, con lo que se produce un flujo de energía calorífica del agua al hielo seco. Este flujo de calor es suficiente para dar la energía necesaria al hielo seco, para que pase de su forma sólida a su forma gaseosa (1). Al cambio físico en el que un sólido se vuelve gas, se le conoce como sublimación. En este experimento el  $CO_2$  se sublima; es decir, sigue siendo  $CO_2$ , únicamente cambia de estado al pasar de sólido a gas. El hielo seco es un gas llamado  $CO_2$ , que se licúa y se convierte en una sustancia sólida muy fría ( $-80\text{ }^\circ\text{C}$ ) que, por lo mismo, se emplea como refrigerante. Un ejemplo de esto serían los carritos donde se expenden helados, donde se coloca hielo seco para mantenerlos fríos.

La materia también sufre cambios químicos. Estos, son aquéllos en los que cambia la estructura interna de la materia; es decir, las sustancias se transforman en otras totalmente diferentes, con propiedades distintas a las que tenían originalmente. Al proceso mediante el cual se da este cambio se le llama reacción química.

En resumen, podemos decir que una reacción química ocurre cuando una o más sustancias se combinan y se transforman en sustancias completamente diferentes a las que eran originalmente.

Las reacciones químicas, en algunas ocasiones, producen cambios de coloración, desprendimiento de calor o gases, formación de sólidos, explosiones, etc. Un ejemplo de reacción química que todos hemos observado, es el burbujeo que se produce en un vaso con agua, al añadir un comprimido de alka-Seltzer (medicamento de uso común para el malestar estomacal). El burbujeo se debe a una reacción química entre dos de las sustancias que contiene la pastilla (ácido cítrico y bicarbonato de sodio) que, al ser disueltas en el agua, liberan un gas, en forma de burbujas, que se llama dióxido de carbono ( $CO_2$ ).

#### **4.2. Demostración experimental: Pasta de dientes para elefantes**

*Observaciones:* De una probeta de 1L, se desborda abundantemente y con fuerza espuma coloreada y vapor.

*Procedimiento:* Se adiciona a una probeta peróxido de hidrógeno (agua oxigenada) en solución acuosa al 30%, detergente líquido y unas gotas de colorante vegetal. Sobre esta mezcla se vierte una solución saturada de yoduro de potasio (KI). El cambio de color y la producción de espuma se observan de inmediato.

*Explicación del experimento:* El yoduro de potasio reacciona con el agua oxigenada liberando  $H_2$  en forma de gas. Este gas, al pasar por el detergente, genera la

espuma que se desborda de la probeta. El cambio de color de la mezcla a rojizo se debe a la presencia de yodo libre (2).

El yodo en solución se usa generalmente como desinfectante de frutas y verduras, mientras que el agua oxigenada diluida se aplica sobre las heridas leves, provocadas por raspaduras, teniendo el mismo efecto desinfectante.

#### **4.3. Demostración experimental: Reacción de neutralización e indicadores ácido-base**

*Observaciones:* Tres vasos con líquidos incoloros, que son fenolftaleína en agua, hidróxido de sodio concentrado y ácido clorhídrico concentrado.

*Procedimiento:* Se vierte la fenolftaleína sobre el hidróxido de sodio, la solución adquiere un color rosa y se adiciona ácido clorhídrico para que se torne nuevamente incolora.

Explicación del experimento: La fenolftaleína es un indicador ácido-base que, al estar en contacto con una base como el hidróxido de sodio, le imparte a la solución una coloración rosa, mientras que, al contacto con un ácido, la solución permanece incolora. El exceso de ácido que agregamos reacciona con la fenolftaleína, volviendo la solución incolora (3). Las reacciones son:



Un tipo importante de reacciones químicas es el que se da entre ácidos y bases. Generalmente, se dice que un ácido es una sustancia que tiene un sabor “agrio”, mientras que una base es una sustancia con sabor “amargo”. Por ejemplo el limón sabe agrio porque contiene ácido cítrico y el vinagre también es agrio porque es ácido acético disuelto en agua. El amoníaco y los jabones que se utilizan como limpiadores son sustancias básicas que tienen sabor amargo. La mayoría de los ácidos y las bases son sustancias tóxicas, no se deben probar y mucho menos ingerir y, al ponerse en contacto con la piel, algunos causan quemaduras.

El ejemplo que dimos antes sobre el Alka-Seltzer, sirve también para ilustrar la reacción entre un ácido y una base. Cuando se tiene acidez estomacal, se debe a la presencia en exceso de ácido y, al ingerir el Alka-Seltzer, que tiene bicarbonato de sodio, que es una base, llevamos a cabo una reacción ácido-base en el interior del estómago, eliminándose el exceso de ácido:



Las reacciones entre ácidos y bases producen una sal y agua. Para determinar si una sustancia es un ácido o una base, se requiere de una tercera sustancia llamada indicador que presenta una coloración distinta al estar frente a un ácido o una base.

#### **4.4. Demostración experimental: Juegos de fuego**

*Observaciones:* A dos morteros, con diferentes sustancias cada uno, se les prendió fuego y ambos resplandecieron con una leve explosión, desprendiendo humo de color amarillo y azul.

*Procedimiento:* Colocar en un mortero clorato de potasio, oxalato de sodio, carbón y azufre, en el otro mortero: sulfato de cobre, azufre, clorato de potasio y carbón. Prender fuego a ambos morteros.

*Explicación del experimento:* La oxidación y la reducción a la llama de algunas sustancias químicas producen luz de colores, como en el caso del sodio, que es de color amarilla, y el del cobre, que es de color azul (1).

La materia está compuesta por átomos y éstos, a su vez, por electrones y protones. Los protones tienen carga positiva y están en el núcleo, mientras que los electrones tienen carga negativa, giran alrededor del núcleo y son los responsables de los fenómenos eléctricos. Esto lo podemos comparar con el sistema solar, en el que el Sol es el núcleo y los planetas son los electrones.

El intercambio de electrones de los átomos de una sustancia a los átomos de otra, es lo que conocemos como reacción de oxidación-reducción. Cuando un átomo pierde electrones se dice que se oxida y cuando los gana que se reduce. Siempre que un átomo oxida otro, tiene que reducirse, puesto que pasan los electrones de un átomo a otro. Por ejemplo, las pilas generan electricidad gracias a reacciones de oxidación-reducción. El hecho de que la plata se ponga negra es debido a que se oxida al contacto con el aire y la humedad que se encuentra en él. Cuando dejamos una manzana expuesta al aire después de haberla mordido, el hierro que contiene se oxida y por eso se pone la manzana de color café.

#### **4.5. Demostración experimental: La pelota que rebota**

*Observaciones:* Cada alumno manufactura su propia pelota de hule.

*Procedimiento:* Se da a cada alumno un abatelenguas<sup>5</sup>, un vaso de plástico con agua caliente y borax para que lo disuelvan, cuando la disolución está hecha se adicionan dos cucharadas de pegamento blanco y se revuelve la mezcla hasta que endurezca. Se saca del recipiente y se moldea con la mano, ya frío y totalmente endurecido se comprueba que sí rebota (6).

---

<sup>5</sup> Término usado en México con el que se denomina al depresor que utilizan los médicos para aplicar a la base de la lengua con objeto de observar la cavidad faríngea.

Los polímeros son compuestos que contienen miles e incluso hasta millones de moléculas idénticas unidas entre sí. Los polímeros más comunes que vemos son los plásticos. Existen diferentes tipos de plásticos, unos son flexibles, como los que se usan para manufacturar bolsas, y otros rígidos ó duros, como los que se utilizan en los envases para comidas y bebidas, juguetes, etc. Otros incluso rebotan, como las pelotas de hule. Otros tipos de polímeros son los que se encuentran en forma semisólida, como los pegamentos, o bien los que se presentan en forma de fibras como el nylon y el poliéster. En la naturaleza existen también polímeros como el algodón, lino, celulosa y almidón.

## 5. RESULTADOS

En el diseño y presentación de las experiencias de cátedra colaboraron dos alumnos de servicio social, quienes realizaron doce presentaciones en colegios del Sur de la ciudad de México. El proyecto estaba diseñado para alumnos de nivel medio y medio superior pero, al hacer las presentaciones, los directores de los Centros nos solicitaron que también incluyéramos a los de nivel básico. De esta forma, captamos la atención de 445 alumnos desde el 4º grado de primaria al 3º de secundaria y un grupo de bachillerato. En general, la respuesta de los alumnos hacia las presentaciones de las experiencias de cátedra fue positiva, en especial en las escuelas primarias, donde los alumnos nunca habían estado en contacto con un laboratorio, por lo que el observar este tipo de experimentos de Química relacionados con la vida cotidiana, resulta totalmente novedoso y llamativo. Las opiniones y comentarios de los alumnos recogidas al momento de las presentaciones fueron muy valiosas porque con esto se fueron seleccionando las experiencias de cátedra que más les agradaron para planear futuras presentaciones. Las preguntas que les hicimos, al azar, nos permitieron comprobar que habían comprendido algunos de los conceptos químicos presentados.

Los niños de primaria realizaron dibujos sobre los experimentos que más les habían gustado, e incluso varios querían saber qué material debían conseguir para poder realizarlos en sus casas y mostrárselos a sus padres. Los alumnos de secundaria manifestaron que los experimentos que más les gustaron fueron la pelota que rebota y los juegos de fuego.

Algunas de las opiniones de los alumnos rescatadas por escrito, se transcriben textualmente a continuación.

“ Me gustó saber de la Química. Unos experimentos muy buenos, todo me gustó y yo pienso que es muy divertido aprender la Química. Aunque es difícil, es bonita; muchas felicidades por venir a enseñarnos tanto y en un idioma comprensible. Gracias por la pelota”.

“Creo que no es aburrida ni fea la Química”.

“Quiero decirles que había cosas que no sabía, pero les agradezco por enseñármelo y todo lo que aprendí estuvo muy interesante”.

“Todo estuvo padrísimo, ahora se que la Química no es ni aburrida ni difícil”.

“Estuvo súper divertida, ojalá nos den la clase de Química como ustedes”.

“La verdad está muy *cool*, pues me pareció fabuloso cuando descompusieron el azúcar, lo del hielo seco estuvo genial”.

## 6. CONCLUSIONES

El realizar las experiencias de cátedra química a nivel básico y medio, resulta de gran valía para incidir en la formación de los niños y jóvenes y, así, despertar su interés científico, ya que la información que han recibido la mayoría de ellos a esta temprana edad, a través de los medio de comunicación, el hogar, los compañeros de clase y hasta en algunas ocasiones por comentarios incorrectos de los profesores en el aula, no es lo suficientemente clara, tanto en lenguaje como en conceptos y da como resultado que se vaya distorsionando la imagen de la Química, que pierdan interés y se incremente el temor de los niños y adolescentes hacia esta Ciencia.

Es importante que, al diseñar las experiencias de cátedra, sean de fácil realización, llamativas, dinámicas y que, al hacer la presentación, se redacte un guión en un lenguaje claro, dándole un pequeño matiz de juego, sin llegar a desquebrajar el orden y el sentido educativo. Lograr relacionar este tipo de experiencias de cátedra con la vida cotidiana, permite que el aprendizaje de esta Ciencia sea más sencillo y no la vean como una Ciencia aislada e inútil. Es recomendable, dada la edad de los alumnos, que los grupos en los que se van a hacer las presentaciones, sean aproximadamente de 10 y 15 alumnos, con la finalidad de mantenerlos relativamente cerca de la mesa donde se realizan los experimentos, evitando así que los alumnos se distraigan y caigan en el desorden y apatía.

De los resultados obtenidos a lo largo de estas presentaciones, fue muy satisfactorio observar el entusiasmo que despertaron las experiencias de cátedra en la mayoría de los alumnos, así como el haber podido transmitirles algunos principios básicos de Química en una forma distinta, divertida y, al mismo tiempo, relacionados con la vida cotidiana.

## BIBLIOGRAFÍA

1. L.A. Ford, *Mágica Química*, Ed. Diana, México (1991).
2. D.C. Harris, *Análisis Químico Cuantitativo*, Grupo Editorial Iberoamérica (1992).
3. Carrillo Chávez *et al.*, *Química General*, Laboratorio y taller, U.N.A.M. (1990).
4. J. Van Cleave, *Química para niños y jóvenes*, Ed. Limusa, México D.F. (1996).
5. A. Garritz y J.A. Chamizo, *Tú y la Química*, Ed. Pearson, México (2001).
6. <http://boyles.sdmt.edu/tpaste/elephants.htm>

# LA PREPARACIÓN DE HALUROS DE COBRE (I) COMO MODELO DE PROCEDIMIENTOS SINTÉTICOS DE BAJO IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

*María de los Remedios Pedrosa, Rafael Aguado, Susana Arnáiz,  
María Lozano, Francisco Javier Arnáiz*

Departamento de Química, Universidad de Burgos  
Plaza Misael Bañuelos s/n, 09001-Burgos. e-mail: mpedrosa@ubu.es

*Se analiza la síntesis, a pequeña escala, de CuCl y CuI, como ejemplo de actuaciones en el laboratorio para introducir los principios de la Química Verde.*

## 1. INTRODUCCIÓN

La necesidad de la implantación, a nivel industrial, de nuevos procesos de preparación de productos químicos de bajo impacto medioambiental es universalmente reconocida, y se sitúa en el contexto del 'desarrollo sostenible'. Así, uno de los objetivos de la investigación química de hoy es el desarrollo de nuevos métodos de producción más limpios que los actuales, a la par que económicamente viables.

El horizonte hacia el que debe de moverse la Química, 'química verde', con frecuencia choca frontalmente con los dictados de la economía de libre mercado. Pero este proceso es sin duda imparable, en buena medida, por la creciente presión social para evitar la degradación del medio ambiente. Consecuentemente, una de las prioridades de la educación química es la mentalización y capacitación de los estudiantes, futuros profesionales del mundo de la producción, para actuar en el sentido apuntado.

Es de notar que, en muchos casos, la mejora de los métodos de producción actualmente vigentes no requiere esperar el descubrimiento previo de nuevos procedimientos sintéticos, sino simplemente la aplicación racional del conocimiento existente. Para ilustrar esto, se propone aquí la síntesis de dos haluros de cobre (I), CuCl y CuI, como ejemplo de un modo racional de proceder en situaciones concretas.

## 2. PREPARACION DE CuCl

### 2.1. Planteamiento del problema

El problema consiste en la preparación de CuCl en el laboratorio, generando la menor cantidad posible de subproductos, y suponiendo que disponemos únicamente de las siguientes fuentes de cobre: Cu metal, CuO y CuSO<sub>4</sub>·5 H<sub>2</sub>O.

## 2.2. Procedimientos posibles, análisis de viabilidad y selección

Entre los métodos ideales de preparar CuCl, basados en la no generación de residuos (máxima economía atómica), cabe pensar en los siguientes:



La formación de CuCl es teóricamente posible, aunque el producto obtenido en condiciones normales es CuCl<sub>2</sub>. El empleo de cloro y especialmente la necesidad de una temperatura suficientemente elevada para evitar la formación de CuCl<sub>2</sub> lo hacen desaconsejable a nivel de laboratorio.



La reacción también es posible. Aunque un examen de los potenciales de reducción estándar indique que, en medio acuoso, el Cu (I) se desproporciona a Cu (0) y Cu (II), la existencia de clorocomplejos y el conocimiento de sus propiedades sugieren no descartar esta posibilidad.



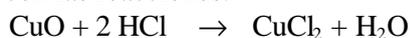
La reacción también es posible. A pesar de la baja solubilidad de CuCl en agua, puede aprovecharse la posibilidad de formación/descomposición de clorocomplejos. Es de notar que, aunque estrictamente hablando, la economía atómica es inferior a la de los procesos anteriores, el agua no puede considerarse como un subproducto indeseable.

De otro lado, un examen de las fuentes bibliográficas nos indica que el CuCl se puede preparar en el laboratorio de varias maneras, especialmente:

- Por reducción de CuSO<sub>4</sub> con SO<sub>2</sub>, en presencia de iones cloruro (1).
- Por reducción de CuSO<sub>4</sub> con virutas de Cu, en presencia de NaCl o HCl (2).
- Por reducción de CuCl<sub>2</sub> con Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> (3).
- Por reducción de CuCl<sub>2</sub> con una amplia gama de productos inorgánicos, incluyendo el Cu (4), y orgánicos (5).

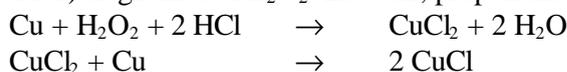
La combinación del análisis lógico (métodos ideales) y el conocimiento químico existente conduce, en primera aproximación, a descartar los métodos tradicionales mejor descritos en las fuentes bibliográficas, puesto que generan subproductos nocivos para el medio ambiente. Un análisis detallado de las posibles soluciones queda fuera del alcance de este trabajo pero, siguiendo la línea de razonamiento esbozada, se llega a soluciones como las que aquí se proponen para resolver el problema:

- Transformación de CuO en CuCl<sub>2</sub>, seguido de reducción del CuCl<sub>2</sub> con Cu de acuerdo con las reacciones:



- Transformación de Cu en CuCl<sub>2</sub> mediante un oxidante limpio, seguido de reducción con Cu, como se refleja en el apartado anterior. Entre los oxidantes más limpios se hallan el oxígeno y el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Pero como la transformación completa del Cu en CuO por calentamiento al aire requiere

condiciones especiales (particularmente disponer del metal en estado de muy fina división) elegiremos el  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Es decir, proponemos la secuencia:



Obviamente, este procedimiento sólo sería aconsejable cuando la única fuente de cobre disponible fuese el cobre metal. Ensayaremos ambos procedimientos a pequeña escala.

### 2.3. Preparación de $\text{CuCl}$ a partir de $\text{CuO}$ y $\text{Cu}$

En un tubo de ensayo de 15x150 mm se tratan 200 mg de  $\text{CuO}$  con 1 mL de agua y 2 mL de  $\text{HCl}$  concentrado (aproximadamente al 35%). A la disolución resultante se añade 1 g de  $\text{Cu}$  finamente dividido (nota 1) y se acopla un globo limpio a la boca del tubo (nota 2). El tubo se sumerge en un baño de agua a ebullición, hasta que la disolución es prácticamente incolora (nota 3). La disolución clorhídrica de  $\text{CuCl}$  resultante se filtra (o simplemente se decanta) para separar el exceso de  $\text{Cu}$ , que se lava con dos porciones de 0,5 mL de  $\text{HCl}$  6M. El filtrado y el líquido de lavado se recogen en otro tubo de ensayo similar, conteniendo 10 mL de agua destilada fría, preferiblemente desaireada para minimizar la reoxidación del  $\text{CuCl}$ . El precipitado blanco de  $\text{CuCl}$  que se produce de modo inmediato (nota 4) se filtra, se lava con agua y se seca a vacío (nota 5). Típicamente se obtienen entre 200 y 300 mg de  $\text{CuCl}$  en forma de polvo blanco microcristalino.

#### *Notas:*

1. Una bola de hilos finos de cobre de conductores eléctricos de desecho da excelentes resultados.
2. De este modo se evita el escape de algo de  $\text{HCl}$ , así como eventuales salpicaduras.
3. La disolución, inicialmente de color pardo oscuro debido a la presencia de clorocomplejos de  $\text{Cu}$  (II), se torna prácticamente incolora cuando todo el  $\text{Cu}$  (II) se ha transformado en  $\text{Cu}$  (I). El tiempo de reacción es fuertemente dependiente de la superficie del  $\text{Cu}$  en contacto con la disolución. Usualmente un periodo de 10 minutos es suficiente para completar la reacción. Es importante que la parte superior del tubo no se halle sometida a calentamiento directo para que pueda actuar como condensador de aire. Es de notar que el  $\text{CuCl}$  es blanco e insoluble en agua pero, en presencia de iones  $\text{Cl}^-$ , se forma el complejo incoloro  $[\text{CuCl}_2]^-$ . Así el  $\text{CuCl}$  es notablemente soluble en  $\text{HCl}$  6M.
4. El  $[\text{CuCl}_2]^-$  es poco estable de modo que, cuando la concentración de  $\text{Cl}^-$  es baja (la dilución aplicada reduce drásticamente la concentración de  $\text{HCl}$ ), la disociación es casi completa con lo que precipita el  $\text{CuCl}$ .
5. Para un secado más rápido puede lavarse con acetona.

## 2.4. Preparación de CuCl a partir de Cu

De modo similar al anteriormente descrito se tratan 200 mg de Cu con 1 mL de H<sub>2</sub>O y 2 mL de HCl 12 M. Seguidamente se añade, gota a gota y con agitación, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> del 30% (¡Cuidado!, el uso de guantes y gafas es obligado ya que el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a esta concentración es muy agresivo para la piel y en el curso de la reacción se producen micro salpicaduras invisibles) hasta la completa disolución del Cu. A la disolución resultante se añade 1 g de Cu y se continúa el proceso como se describe en la sección precedente.

## 2.5. Reutilización de subproductos

El cobre que no ha reaccionado, una vez lavado y seco, se recupera para otros usos o similares preparaciones.

La disolución acuosa, esencialmente HCl diluido con pequeñas cantidades de Cu (I) y Cu (II), puede a su vez concentrarse por calentamiento hasta que comienza a destilar el azeótropo de punto de ebullición máximo H<sub>2</sub>O-HCl. Se obtiene así una disolución residual aproximadamente 6M de HCl, conteniendo pequeñas cantidades de cloruros de cobre, que puede emplearse directamente para nuevas preparaciones.

Si para reducir el periodo de secado del CuCl se utiliza acetona, ésta puede recuperarse mediante destilación simple.

## 3. PREPARACION DE CuI

Un análisis similar, basado en los modos de síntesis de yoduro cuproso (6), permite la preparación de CuI a partir de los elementos, aprovechando la formación reversible de iodocupratos (7), como se indica a continuación:

En un tubo de ensayo de 15x150 mm se colocan 0,5 g de yodo, 5 g de NaI y 5 mL de H<sub>2</sub>O. Se toma un hilo grueso de cobre, de unos 20-30 cm de largo y 1 mm de diámetro, se enrolla unos 10-15 cm por un extremo (se sugiere usar un lapicero o una varilla de vidrio) y se introduce por la parte enrollada en el tubo de ensayo. El tubo se sumerge en un baño de agua a punto de ebullición y se mantiene caliente hasta la desaparición del color rojo, moviendo ocasionalmente el hilo de cobre para facilitar la reacción (la operación dura unos 15-20 minutos).

Se extrae el hilo de cobre y se lava mediante agitación en un vaso que contiene unos 25 mL de agua a temperatura ambiente. Una vez seco se pesa el hilo de cobre. En una reacción típica, utilizando un hilo de cobre de 2,213 g y 502 mg de I<sub>2</sub>, la pérdida de peso del hilo de cobre fue de 250 mg, siendo la pérdida teórica de 251 mg.

El contenido del tubo de ensayo se vierte en el mismo vaso de agua en que se lavó el hilo de cobre, apreciándose la inmediata precipitación de CuI. Se filtra el precipitado blanco de CuI, se lava con agua, luego con un poco de acetona o etanol, y se

deja secar al aire. Con 502 mg de  $I_2$  se obtuvieron 675 mg de CuI, lo que supone un rendimiento del 90% respecto al  $I_2$ .

Es de notar que en este procedimiento se utiliza una considerable cantidad de NaI, por lo que aparentemente es poco adecuado desde la perspectiva de la Química Verde. Sin embargo, la disolución de NaI resultante, que contiene aproximadamente el 10% del CuI formado, puede reutilizarse indefinidamente, previa concentración. Resulta así muy adecuado, a la par que sencillo, cuando se requiere con frecuencia CuI puro y recientemente preparado.

### AGRADECIMIENTO

Se agradece la ayuda prestada por la Junta de Castilla y León, a través del proyecto UB03/02.

### REFERENCIAS

1. G. Brauer, *Handbuch der Präparativen Anorganischen Chemie*, Ed. Ferdinand Enke, Stutgard (1954).
2. M. Denigés, *Comptes Rendus*, **1889**, Vol. 108, 567.
3. W.C. Fernelius, *Inorg. Synth.*, **1946**, Vol. 2, 1.
4. M. Gröger, *Z. Anorg. Chem.*, **1901**, Vol. 28, 160.
5. B.K. Vaidva, *Nature*, **1928**, Vol. 123, 414.
6. G.B. Kauffman y R.P. Pinnell, *Inorg. Synth.*, **1960**, Vol. 6, 3.
7. G.B. Kauffman, *Inorg. Synth.*, **1983**, Vol. 22, 101.



## LAS BEBIDAS: PRODUCTOS COTIDIANOS EN LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA

*Ángel Blanco, Luis F. Garrido<sup>1</sup>, Carmelo Uruga, José Antonio Barea,  
M<sup>a</sup>. Carmen Guijarro, Francisco J. Guijarro, Rafaela Pozas, José Aldo Piano.*

Grupo QUIMESCA (Química-Escuela-Casa). quimesca@yahoo.es

<sup>1</sup>I.E.S. Portada Alta, Cómputa 31, 29007-Málaga

*Las bebidas constituyen un conjunto de productos cotidianos de gran incidencia en nuestra vida, y especialmente en la de los adolescentes por su relación con las bebidas alcohólicas. Utilizando estos productos como centro de interés es posible abordar en las clases muchos conocimientos de Química y, a su vez, aspectos relacionados con la salud, la tecnología, el consumo, las relaciones sociales,... El Grupo Quimesca (Química-Escuela-Casa), adscrito al Centro de Profesorado de Málaga, trabaja en la elaboración de Cuadernos Didácticos sobre las bebidas para tratar objetivos y contenidos de las Ciencias de la Naturaleza en la E.S.O.. En este trabajo se presentan, concretamente, los Cuadernos referentes al Café, té y chocolate, sus contenidos y los criterios y referentes que se han tenido en cuenta para su elaboración.*

### 1. INTRODUCCIÓN

El trabajo de nuestro grupo consiste en explorar las relaciones entre la Química que se enseña en la escuela y la vida cotidiana (1-3). Tratamos con este enfoque de potenciar la funcionalidad de los contenidos que se enseñan, que carecen a menudo de interés para los alumnos.

La desconexión que, normalmente, se produce entre la vida escolar y la vida cotidiana (4,5) lleva a que los mensajes, valores y actitudes que se transmiten desde la escuela, y desde fuera de ella, no sólo no sean complementarios sino que con frecuencia aparezcan del todo extraños e incluso antagónicos. Aunque parece que en los últimos años esta situación está comenzando a cambiar y son frecuentes las alusiones a la Química y la vida cotidiana (véase, por ejemplo, la referencia (5) o el propio hecho de que se realice esta Jornada), la Química escolar está todavía muy alejada de las situaciones de la vida diaria y de los aspectos prácticos si tenemos en cuenta los currículos y enfoques más generalizados (6).

Pensamos que la dimensión contextual y aplicada de la enseñanza de la Química, en consonancia con los enfoques Ciencia-Tecnología y Sociedad (C.T.S.), quizás sea la que mejor nos permita conectar con los intereses y expectativas de las alumnas y alumnos en la enseñanza obligatoria. Ejemplos de materiales curriculares que ponen de manifiesto estos planteamientos son los proyectos Nuffield de ciencia coordinada (7), y el *Salter's Approach* (8). En España también pueden encontrarse algunos materiales didácticos con estos enfoques (9,10).

En esta línea nos planteamos los siguientes objetivos:

- Reflexionar sobre la dimensión contextual y aplicada de la Química, y su papel en una educación obligatoria.
- Desarrollar aspectos relativos al conocimiento y uso de materiales y productos de interés en la vida diaria.
- Relacionar contenidos de Química con materias transversales: educación ambiental, educación para la salud, educación del consumidor y usuario, etc.
- Colaborar en iniciativas de divulgación científica (11,12).
- Elaborar materiales didácticos para el profesor y para el aula.
- Difundir los materiales didácticos elaborados y evaluar su implementación.

## 2. ELABORACIÓN DE MATERIALES DIDÁCTICOS

La elaboración de materiales didácticos se ha convertido en el eje central del trabajo del grupo. En estos materiales, pretendemos concretar nuestras ideas sobre la relación entre la enseñanza de la Química y la vida cotidiana. Hemos escogido "las bebidas" como centro de interés por tratarse de una amplia variedad de productos de gran incidencia en la vida de los adolescentes, especialmente por su relación con las bebidas alcohólicas.

Se comenzó explorando las ideas, conocimientos e intereses que poseen los estudiantes de enseñanza secundaria obligatoria con respecto a las bebidas. Para ello se elaboró un cuestionario que fue pasado a 180 alumnos de 3º y 4º de E.S.O., en distintos centros educativos de Málaga y provincia. A partir de los datos extraídos de sus respuestas y de los objetivos que en el grupo teníamos planteados, se elaboró el esquema inicial de trabajo que se muestra en la figura 1.

Los apartados que se incluyen en el esquema muestran las vertientes del tema que se seleccionaron para ser desarrolladas posteriormente, proyectándose la elaboración de los siguientes *cuadernos didácticos*:

- El alcohol: Cerveza, vino y licores.
- Refrescos, zumos y licores sin alcohol.
- Café, té y chocolate.
- El agua.

Estos *cuadernos didácticos* tratan diferentes apartados recogidos en el esquema inicial de trabajo, y se presentan en forma de *Cuaderno del Profesor* y *Cuaderno de Actividades*.

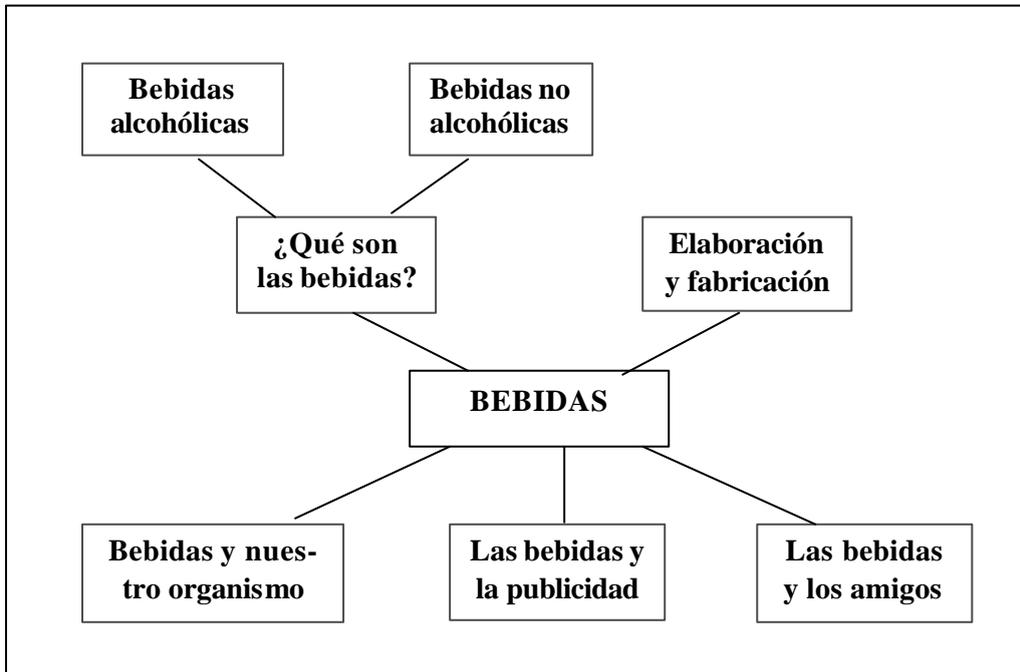


Figura 1. *Esquema inicial de trabajo.*

Con estos cuadernos didácticos pretendemos ofrecer:

a. Un conjunto de recursos para los profesores (informaciones, guiones didácticos) que les permita, sin ser especialistas, tratar estos aspectos con sus alumnos, bien como una unidad didáctica en sí misma, bien insertando actividades concretas de las que se proponen en el seno de otras unidades didácticas.

b. Materiales de aula en forma de programa de actividades, diseñados con un cierto grado de flexibilidad, para que se puedan tratar en diversos niveles educativos y con distintos enfoques.

A la hora de elaborar los contenidos y las actividades de enseñanza se han tenido en cuenta los siguientes criterios:

- Realizar un tratamiento interdisciplinar del tema escogido. Además de abordar los aspectos químicos de los productos que se estudian, se presta atención a las relaciones con otras áreas del currículum como Tecnología y Ciencias Sociales y materias transversales como la Educación Ambiental, Educación para la Salud y Educación del Consumidor y Usuario.

- Utilizar la “aplicabilidad en la vida diaria” como referente para la selección de los contenidos y el diseño de las actividades.

- Procurar que las actividades de enseñanza y aprendizaje sean variadas, tanto en su temática, como en las estrategias didácticas utilizadas en ellas (actividades individuales, en pequeños grupos, debates colectivos, actividades de reflexión, de lectura, de búsqueda e interpretación de información, experimentales,...).

### **3. CUADERNOS DIDÁCTICOS SOBRE EL CAFÉ, TÉ Y CHOCOLATE**

#### **3.1. ¿Por qué se han agrupado estos productos para su estudio?**

A pesar de tener apariencias muy distintas, tanto en aspecto como en sabor, el café, el té y el chocolate comparten algo en común y es que su consumo produce, a partir de ciertas dosis, determinados efectos en nuestro organismo, por lo que son denominados productos excitantes.

Al hacerlo de esta forma, pretendemos que los alumnos centren su atención en la composición química más que en los aspectos externos de los productos y puedan asimilar más fácilmente algunas de las ideas que nos parecen importantes, tales como:

- El café, el té y el chocolate contienen sustancias excitantes denominadas cafeína, teofilina y teobromina, respectivamente.
- Las propiedades químicas de las sustancias dependen de la naturaleza de sus especies químicas.
- La cafeína, teofilina y teobromina pertenecen a una misma familia de compuestos, lo que explica que tengan ciertas características y propiedades comunes.
- Estas sustancias producen determinados efectos en el organismo. La cafeína produce efectos euforizantes, al igual que la teobromina. La teofilina, además, favorece la eliminación de la orina.
- La intensidad de estos efectos depende de factores personales y de las cantidades que se consuman.
- Consideramos drogas a aquellas sustancias que producen alteración en el organismo y crean dependencia.

Estas ideas, junto con otras más relacionadas con la salud, el consumo e incluso con aspectos sociales, como el comercio justo, constituyen los referentes a partir de los cuales se han elaborado las actividades para los alumnos.

#### **3.2. Cuaderno del profesor**

El Cuaderno del profesor es un amplio documento (100 páginas) organizado en dos grandes apartados:

*1. Información*, que recoge, de modo sintético, contenidos de distinto índole que permitan al profesor conocer los aspectos más relevantes del tema, desde nuestro punto

de vista, de forma cómoda y rápida. Esta información abarca para cada uno de los productos los siguientes puntos:

- Breve historia
- Aspectos técnicos
- Aspectos químicos
- Preparación de la bebida
- Legislación
- Bibliografía e información de Internet.

Además, se incluye un apartado sobre los principios activos del café, té y cacao.

2. *Guión didáctico*, diseñado para ayudar al profesor a tratar en clase distintos aspectos del tema. Para ello se le ofrecen:

· *Objetivos*. Con el estudio de este tema y la realización de las actividades que se plantean, se abordan una serie de objetivos que incluyen el desarrollo de aspectos conceptuales, procedimentales y actitudinales. Así, por ejemplo, pretendemos que los alumnos:

- Conozcan los componentes más importantes del café, el té y el chocolate y sus efectos sobre el organismo.
- Busquen y utilicen fuentes de información adecuadas para las preguntas y demandas que se les hacen.
- Valoren las repercusiones que para la salud puede acarrear el consumo de estos productos.
- Relacionen conocimientos de química con otros propios de la salud o del consumo.

· *Ideas clave*. En las actividades propuestas aparece un conjunto de ideas que nos parecen clave en este tema, sin detrimento de que los alumnos puedan adquirir muchas más. Al justificar el agrupamiento de estos productos se han citado ya algunas de estas ideas clave.

· *Comentarios sobre las actividades*. Se ofrecen informaciones, complementarias a las que figuran en el cuaderno del profesor, orientaciones didácticas y recursos sobre cada una de las actividades propuestas.

· *Materiales y recursos*. La realización de las actividades requiere la utilización de materiales y recursos diversos, pero todos al alcance de las posibilidades de un centro de enseñanza secundaria mínimamente dotado. Algunos de estos materiales se utilizarán de forma puntual en alguna actividad, mientras que otros (sobre todo las fuentes documentales: libros, enciclopedias o diccionarios) deberían estar a disposición de los alumnos durante todas las clases. También sería conveniente que los alumnos pudiesen hacer consultas en Internet.

· *Relaciones con el currículum*. Se analizan las relaciones entre nuestra propuesta y el currículum de la Enseñanza Secundaria Obligatoria, en el Área de Ciencias de la Naturaleza, señalando también algunas aportaciones a las áreas de Lengua y de Ciencias Sociales, y al tratamiento de aspectos determinados de materias transversales como Educación para la Salud y Educación para el Consumidor y Usuario.

· *Orientaciones para el desarrollo de las actividades.* Nuestra propuesta está orientada principalmente a los cursos 3º y/o 4º de E.S.O., pero serán los profesores que deseen ponerla en práctica quienes valorarán la adecuación de los contenidos y las actividades al nivel de sus alumnos. Pueden realizarse diversos enfoques según que se quiera:

- Poner el acento sobre aspectos relacionados con la Química.
- Tratar aspectos relacionados con la salud y el consumo.
- Desarrollar la propuesta en el marco de la asignatura “Métodos de la Ciencia”.
- Utilizar el tema dentro de la asignatura “Ciencia, Tecnología y Sociedad (C.T.S.)”.

### **3.3. Cuaderno de Actividades**

El Cuaderno de Actividades está dirigido a los alumnos, se recoge en él un conjunto de actividades diversas, (experimentales, de búsqueda e interpretación de información, de lectura y debate,...) preparadas para desarrollarlas en clase.

Se estructura en una serie de apartados con cierta independencia entre sí, que pueden, en su mayoría, ser utilizados de forma aislada para incorporarlos a las unidades didácticas que se estén enseñando, o bien tratar todos o algunos de ellos como una unidad didáctica en sí misma.

Este cuaderno consta de los siguientes apartados:

- Sustancias excitantes.
- Composición del chocolate.
- En las moléculas encontramos la explicación.
- Diferencias entre medicina y droga.
- Los prospectos de los medicamentos.
- Aplicamos conocimientos de química.
  - Infusiones y suspensiones.
  - Métodos de separación de los componentes de las mezclas.
  - Vamos a hacer números: cálculos con las concentraciones.
  - ¡Vamos al laboratorio!
  - Asuntos de moléculas.
- Pequeños recolectores de cacao.
- Valoración final.

### **3.4. Estado actual y perspectivas de futuro**

En Septiembre del año 2001 publicamos los Cuadernos aquí analizados (13,14), con recursos económicos propios del grupo y la ayuda del Centro de Profesorado de Málaga.

La labor del grupo, en el momento actual, se centra en dos tareas:

1. La elaboración de los cuadernos correspondientes a "El alcohol: cerveza, vino y licores", que se encuentra en su fase final.

2. La difusión y evaluación de la puesta en práctica de los cuadernos sobre el café té y chocolate.

A lo largo de los cursos 2001/2002 y 2002/03 hemos experimentado las actividades propuestas sobre el Café, té y chocolate, en diferentes institutos, por parte de miembros de nuestro grupo, y otros compañeros colaboradores, pudiendo afirmar, de un modo general, que la realización de dichas actividades ha sido muy positiva, con las lógicas diferencias, en cuanto a la aplicación y los resultados, en función de los grupos y niveles con los que se ha trabajado. Con los informes que los profesores nos están haciendo llegar, en los que plasman los objetivos logrados, las dificultades surgidas en su aplicación y sus sugerencias de mejora, estamos llevando a cabo la evaluación de estos materiales didácticos.

## REFERENCIAS

1. A. Blanco, J. Trujillo y C. Uruga, *La Química de los productos cotidianos en la ESO*. Comunicación presentada en el IV Congreso Internacional sobre investigación en la Didáctica de las Ciencias y de las Matemáticas, Barcelona, 13 a 16 de Septiembre (1993).
2. C. Uruga, A. Blanco y J. Trujillo, *Los productos cotidianos como centros de interés en la E.S.O.*, Actas de los Encuentros de Grupos del Área de Ciencias de la Naturaleza, Inglés y Francés, C.E.P. de Málaga, pp. 85-95 (1993).
3. A. Blanco *et al.*, *Materiales didácticos para un enfoque CTS: Las bebidas*. Comunicación presentada en el VI Congreso Internacional sobre investigación en la Didáctica de las Ciencias y de las Matemáticas, Barcelona, 12 a 15 de Septiembre, (2001), *Enseñanza de las Ciencias*, nº extra, 49-50.
4. D. Cerdán *et al.*, *Enseñanza de las Ciencias*, **1985**, nº extra, 81.
5. M. Jiménez, M. Sánchez y E. De Manuel, *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, **2001**, nº. 28, 53-62.
6. W. Van Berkel, W. De Vos, A. Verdonk y A. Pilot, *Science & Education*, **2000**, 9, 123-159.
7. A. Hunt, *Chemistry, Nuffield Coordinated Sciences*, Longman, Londres (1988).
8. M. Aitken *et al.*, *Science Focus: The Salters' Approach*, Ed. Heinemann Educational, Oxford (1992).
9. M. Lozano, C. Mayos y C. Parejo, *Materials del nostre entorn: metalls, combustibles i plastics*, E.S.O., Generalitat de Catalunya, Barcelona (1989).
10. Programa APQUA, *Aprendizaje de los productos químicos, sus usos y aplicaciones*, Ed. Reverté, Barcelona (1991).
11. C. Uruga, M. Guijarro, R. Pozas y A. Blanco, *Spin Cero. Cuadernos de Ciencias*, **2002**, nº. 6, 16-19.
12. J. Piano, L. Garrido, J. Barea y M. Guijarro, *Spin Cero. Cuadernos de Ciencias*, **2002**, nº. 6, 65-68.
13. C. Uruga *et al.*, *Las bebidas. Café, té y chocolate. Cuaderno del profesor*, Los autores y C.E.P. de Málaga (2001).

14. C. Uruga *et al.*, *Las bebidas. Café, té y chocolate. Cuaderno de actividades*, Los autores y C.E.P. de Málaga. (2001).

## CAFÉ CARGADO, CHOCOLATE ESPESO: ¿ESTARÁN CONCENTRADOS?

*Mercedes G. Llano Lomas, Graciela E. Müller Carrera, Oriana Avilés Ávila*

Departamento de Química Inorgánica y Nuclear, Facultad de Química

Universidad Nacional Autónoma de México

Avenida Universidad 3000, Delegación Coyoacán, 04510-México D.F.

*Los programas de Química en el nivel medio establecen la necesidad de relacionar los contenidos con el entorno cotidiano y de no presentarlos con un énfasis teórico y abstracto. En el nivel medio superior se deben presentar tópicos relacionados con el contexto social, económico y político, tanto nacional como mundial y privilegiar la realización de experimentos. Un análisis de los contenidos teóricos presentados en los libros de texto, muestra porqué, a pesar de lo atinado de estas recomendaciones, los estudiantes de licenciatura no son capaces de manejar las diferentes formas de expresar la concentración de las disoluciones. Se incluye una propuesta experimental para el Laboratorio de Química General que ayuda a solucionar este problema.*

### 1. INTRODUCCIÓN

En la vida cotidiana es común oír comentarios como los siguientes: si el café está “cargado” no voy a dormir, el café expés es mucho más “fuerte” que el café americano; ponle un poco de agua al chocolate porque está muy “espeso”; la leche que me vendieron está “bautizada”, sabe a agua; el pintor que contraté “aguó” la pintura y por eso duró tan poco tiempo, ...

Los términos entre comillas, en el párrafo anterior, hacen referencia a la “concentración” y son entendidos por la gran mayoría de las personas aunque no tengan estudios formales de Química. Es hasta el nivel medio (secundaria) cuando la enseñanza del concepto “concentración” se inicia de manera formal y continúa formando parte de los programas de estudio en el nivel medio superior. A pesar de ello, cuando este tema se estudia en Química General, asignatura del tronco común en el primer semestre en la Facultad de Química, presenta dificultades para ser comprendido por los estudiantes y es difícil que puedan aplicarlo en la resolución de problemas.

Las relaciones molares, normales y en porcentaje en peso, por lo general no tienen para los alumnos un significado físico y son conceptos básicos para la comprensión y aprendizaje de la estequiometría, que en asignaturas de semestres posteriores debe aplicarse a la resolución de problemas particulares en áreas de trabajo específicas. Por esto, es necesario asegurar su aprendizaje en el curso de Química

General, para lo cual planteamos una propuesta de trabajo experimental que apoye la enseñanza de este tema.

## **2. OBJETIVO**

El objetivo de este trabajo es analizar los factores involucrados en el proceso enseñanza-aprendizaje del concepto “concentración” en los diferentes niveles educativos y presentar una propuesta para el curso de Laboratorio de Química General que apoya su aprendizaje.

## **3. METODOLOGÍA**

A fin de tener elementos para emitir un juicio y dar recomendaciones respecto a la enseñanza de este tema, se realizaron las siguientes acciones:

Análisis de la forma en la que el tema de concentración se presenta en los libros de texto utilizados en los niveles medio y medio superior, considerando aspectos como los siguientes: conocimientos que se requieren para su comprensión, grado de dificultad con que se trata, relación que se hace con otros conceptos, tipo de ejercicios presentados, aplicaciones posteriores a su estudio, etc.

Análisis de los resultados obtenidos por alumnos que estudiaron este tema haciendo uso de la propuesta experimental planteada en el Laboratorio de Química General.

## **4. ENSEÑANZA DE LA CONCENTRACIÓN EN EL ENTORNO EDUCATIVO**

### **4.1 Nivel medio (secundaria).**

Se consultó el programa oficial de la Secretaría de Educación Pública correspondiente al primer curso de Química (1), que se imparte en el segundo año de este nivel y se analizó el contenido de diferentes libros de texto utilizados en la ciudad de México (2-13). Las recomendaciones del programa oficial indican que deben estimularse las actividades de laboratorio en las que el estudiante desarrolle su creatividad y se enfrente con experimentos cercanos a su persona y ambiente, es decir, cotidianos, ya que si esta asignatura se presenta sin sustento experimental, ocasiona que el alumno se forme una idea incompleta, distorsionada y pobre de esta disciplina. Recomienda, además, que no se deben presentar los contenidos con un énfasis teórico y abstracto, pues ello provoca la animadversión de los estudiantes e influye negativamente en su formación.

El tema de concentración de disoluciones se encuentra ubicado en el bloque llamado “Manifestaciones de la materia. Mezclas y su separación. Compuestos y elementos químicos”. Los conceptos presentados, relacionados con este tema, son los siguientes: definición de disolución, disolvente y soluto; características, clasificación y

ejemplos de disoluciones; soluciones diluídas, concentradas, saturadas y sobresaturadas; proceso de disolución, disociación iónica, electrolitos fuertes y débiles; definición de solubilidad y ejemplos de la vida cotidiana; efecto de la temperatura y la presión en la solubilidad, concentración expresada como porcentaje en masa y volumen, molaridad y molalidad; y propiedades coligativas.

El análisis del contenido realizado nos permitió detectar planteamientos que pueden ser el origen del problema por el cual a los estudiantes les cuesta tanto trabajo comprender y aplicar este tema posteriormente. Tal vez el requerimiento que tienen los profesores de no presentar los contenidos en forma teórica y abstracta y utilizando la experiencia de la vida cotidiana, es lo que provoca problemas.

Se presenta el tema de concentración de disoluciones al mismo tiempo que el de solubilidad, pero se hace especial énfasis en lo que es solubilidad y nunca se relaciona la concentración que puede tener una disolución en función de la solubilidad del soluto. Se habla de disoluciones concentradas y diluidas pero sin hacer hincapié en que los términos concentrado y diluido son relativos, y que dependen de lo que se esté hablando.

No se relacionan las unidades de concentración, gramos de soluto por volumen de disolución, con las de solubilidad, gramos de soluto que se disuelven en un cierto volumen de disolvente a una cierta temperatura. Tanto de manera teórica como experimental se utiliza la disolución de cucharadas de cloruro de sodio en agua a diferentes temperaturas, como ejemplo de la variación de solubilidad con la temperatura, siendo que el cloruro de sodio es una sal cuya solubilidad se mantiene prácticamente constante en un intervalo de 0 a 100° C; se confunden los términos de solución saturada y sobresaturada y pareciera que el solo hecho de agregar más soluto a una disolución la vuelve sobresaturada. Se confunden los términos disolver y diluir.

La mayoría de los textos presentan problemas numéricos para resolver. De acuerdo con lo establecido en el programa oficial en la mayoría de los casos se trata solamente el tema de concentración porcentual, masa/masa, masa/volumen, y volumen/volumen; lo que es adecuado. Sólo excepcionalmente se utilizan concentraciones molares y molales. Se encontraron dos tipos de problemas, los de preparación de soluciones y los del cálculo de la concentración. El procedimiento utilizado para la resolución de estos problemas es adecuado, aunque en algunos casos únicamente se utiliza una fórmula para resolverlos, y no se da ninguna explicación del significado de “porcentual” ni se razona el porqué de la fórmula empleada.

Se presentan actividades que no requieren de trabajo experimental, todas ellas de naturaleza diversa: cuestionarios de opción múltiple, cuestionarios abiertos, trabajos de observación y trabajos de investigación. Muchas de estas actividades requieren de trabajo previo de investigación bibliográfica, asesoría del profesor o trabajo en equipo y esto no se indica en el texto.

#### **4.2 Nivel medio superior (preparatoria o bachillerato)**

Se consultó el programa oficial de la Escuela Nacional Preparatoria de la Universidad Nacional Autónoma de México (14) y se encontró que el tema de concentración está ubicado en la primera unidad llamada “Líquidos vitales” que corresponde al primer curso de esta unidad y se llama “soluciones”. El gran problema que se presenta en este caso, es que la bibliografía (15-21) sugerida en el programa es la misma que se recomienda en el nivel de licenciatura, lo que implica un gran salto en lo que respecta a contenidos y desarrollo de habilidades del nivel medio al nivel medio superior.

El programa oficial indica que el curso de Química para este nivel tenga un enfoque científico cultural en el que mediante tópicos de importancia relacionados con el contexto social, económico y político, tanto nacional como mundial, se introduce a los alumnos en el estudio de la Química; se privilegia la realización de experimentos en el laboratorio, en el aula y fuera de ella, como base para que el educando estructure sus conocimientos y adquiera habilidades como cuestionamiento, observación, indagación, manipulación de material y sustancias químicas, así como el tratamiento y desecho de sustancias nocivas.

#### **4.3 Licenciatura. Curso de Química General**

Este curso se imparte en el primer semestre de la licenciatura en la Facultad de Química. En el programa de la asignatura (22) el tema de concentración de disoluciones se encontró ubicado en la Unidad VI llamada “Fundamentos de estequiometría” al final del cuarto bloque llamado “Estequiometría de disoluciones”. Presenta los siguientes contenidos: definición de solución, tipos de disoluciones; expresiones de la concentración: molaridad, molalidad, porcentaje en peso, formalidad y normalidad; cálculos de preparación de disoluciones; reglas de solubilidad.

### **5. JUSTIFICACIÓN DE UNA PROPUESTA DE TRABAJO EXPERIMENTAL**

Según el análisis realizado, después de la enseñanza secundaria, el alumno debería poder resolver problemas de preparación de disoluciones y cálculo de concentraciones porcentuales (masa/masa, masa-volumen y volumen-volumen) y tener al menos una idea de lo que significa la solubilidad. Seguramente en el bachillerato los profesores tendrán problemas para tratar temas como concentraciones molares, molales y normales; preparación de disoluciones, concentración de disoluciones; cálculos estequiométricos en reacciones químicas, ... La realidad es que, al llegar a la licenciatura, la mayoría de los alumnos tienen dificultad para resolver problemas de concentración de disoluciones y más aún para relacionar y analizar las diferentes formas de expresar la concentración, aspecto que se requiere para que en cursos posteriores puedan resolver problemas de estequiometría en asignaturas diferentes.

### **5.1. Propuesta.**

La propuesta experimental (23) tiene como objetivo que el alumno relacione los volúmenes de reactivos que se gastan en reacciones ácido-base y de oxidorreducción, con los coeficientes estequiométricos de las ecuaciones ajustadas correspondientes, a fin de que analice y aplique los conceptos de molaridad, normalidad, porcentaje en peso, mol y equivalente químico. Para ello se le dan las instrucciones necesarias para que realice titulaciones ácido-base y de óxido-reducción, con disoluciones valoradas de concentraciones 0,1 M, 0,1 N y 0,1 % p/v. Los experimentos indican claramente el procedimiento que debe seguir el alumno y están planteados de tal manera que los volúmenes utilizados para llegar al punto de equivalencia, estén directamente relacionados con los coeficientes estequiométricos de las reacciones que se llevan a cabo.

### **5.2. Relación de la concentración con la intensidad de color.**

El alumno prepara disoluciones coloreadas de diferentes sales, con concentraciones 0,1 M, 0,1 N y 0,1 % p/v, de acuerdo con las indicaciones dadas en la tabla 1, y relaciona la concentración con la intensidad de color. Mediante esta actividad práctica el alumno debe solucionar el problema planteado: indique el orden creciente en que varía la intensidad de color de cada una de las series de disoluciones preparadas y su relación con las diferentes formas de expresar la concentración.

Para el cálculo de la normalidad se le pide que tome cuenta las siguientes consideraciones:

- El permanganato actuando en reacciones de oxidorreducción en las que se obtiene manganeso (II).
- El dicromato de potasio en reacciones en las que el cromo (VI) se reduce a cromo (III).
- En el caso del cobre, considerar una reacción de metátesis.

### **5.3. Volúmenes de reactivos utilizados en reacciones de neutralización ácido-base**

Se pide al alumno medir los volúmenes de reactivo A indicados en las tablas 2 a 4 y agregar reactivo B hasta obtener un vire permanente en el color del indicador. Debe registrar sus resultados experimentales en la tabla correspondiente, y hacer los cálculos que se le solicitan en las columnas vacías. Las tres columnas a la derecha de cada tabla corresponden a los cálculos teóricos. El problema que debe resolver es el de identificar, a través de la reacción propuesta en la tabla 3 la concentración de las disoluciones problema A, B y C.

Tabla 1. Relación de la concentración con la intensidad de color.

Disolución N°.	REACTIVO SÓLIDO	DATOS	g soluto en 100 mL de disolución	MOLARIDAD	NORMALIDAD	PORCIENTO p/v
1	KmnO <sub>4</sub>	158 g/mol	0.1580	0.01	0.05	0.158
2		Mn(VII) a Mn <sup>2+</sup>	0.0316	0.002	0.01	0.0316
3		5 eq/mol	0.0100	6.33x10 <sup>-4</sup>	31.6x10 <sup>-4</sup>	0.01
4	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	294.18 g/mol	2.9418	0.1	0.6	2.94
5		Cr(VI) a Cr <sup>3+</sup>	0.4903	0.0166	0.1	0.49
6		6 eq/mol	0.1000	3.4x10 <sup>-3</sup>	0.02	0.1
7	CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O/NH <sub>3</sub>	249.7 g/mol	0.2497	0.01	0.02	0.2497
8		Cu <sup>2+</sup>	0.1248	0.005	0.01	0.13
9		2 eq/mol	0.0100	4x10 <sup>-4</sup>	8x10 <sup>-4</sup>	0.01

Tabla 2. Titulación de ácido clorhídrico con hidróxido de sodio.  
Indicador: fenolftaleína.

Ecuación: HCl + NaOH → NaCl + H <sub>2</sub> O									
REACTIVO A: HCl			REACTIVO B: NaOH			Rel. Exp.	Relación Teórica		
V (mL)	Concentración	moles	V <sub>prom.</sub> (mL)	Concentración	Moles	V <sub>A</sub> : V <sub>B</sub>	Moles B	Volumen B (mL)	V <sub>A</sub> : V <sub>B</sub>
5	0.1 M	5x10 <sup>-4</sup>	5.1	0.1 M			5x10 <sup>-4</sup>	5	1 : 1
5	0.1 M	5x10 <sup>-4</sup>	4.9	0.1 N			5x10 <sup>-4</sup>	5	1 : 1
5	0.1 M	5x10 <sup>-4</sup>	20.3	0.1 % p/v			5x10 <sup>-4</sup>	20	1 : 4
5	0.1 N	5x10 <sup>-4</sup>	5	0.1 M			5x10 <sup>-4</sup>	5	1 : 1
5	0.1 N	5x10 <sup>-4</sup>	5.1	0.1 N			5x10 <sup>-4</sup>	5	1 : 1
5	0.1 N	5x10 <sup>-4</sup>	20.3	0.1 % p/v			5x10 <sup>-4</sup>	20	1 : 4
5	0.1 % p/v	1.37x10 <sup>-4</sup>	1.5	0.1 M			1.37x10 <sup>-4</sup>	1.37	5 : 1.37
5	0.1 % p/v	1.37x10 <sup>-4</sup>	1.4	0.1 N			1.37x10 <sup>-4</sup>	1.37	5 : 1.37
5	0.1 % p/v	1.37x10 <sup>-4</sup>	5.5	0.1 % p/v			1.37x10 <sup>-4</sup>	5.48	5 : 5.48

Tabla 3. Titulación de ácido sulfúrico con hidróxido de sodio.  
Indicador: fenolftaleína.

Ecuación: H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + 2 NaOH → Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + 2 H <sub>2</sub> O									
REACTIVO A: H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>			REACTIVO B: NaOH			Rel. Exp.	Relación Teórica		
V (mL)	Concentración	Moles	V <sub>prom.</sub> (mL)	Concentración	Moles	V <sub>A</sub> : V <sub>B</sub>	Moles B	Volumen B (mL)	V <sub>A</sub> : V <sub>B</sub>
5	0.1 M	5x10 <sup>-4</sup>	9.9	0.1 M			10x10 <sup>-4</sup>	10	1 : 2
5	0.1 M	5x10 <sup>-4</sup>	9.9	0.1 N			10x10 <sup>-4</sup>	10	1 : 2
5	0.1 M	5x10 <sup>-4</sup>	41	0.1 % p/v			10x10 <sup>-4</sup>	40	1 : 8
5	0.1 N	2.5x10 <sup>-4</sup>	4.9	0.1 M			5x10 <sup>-4</sup>	5	1 : 1
5	0.1 N	2.5x10 <sup>-4</sup>	4.9	0.1 N			5x10 <sup>-4</sup>	5	1 : 1
5	0.1 N	2.5x10 <sup>-4</sup>	20.3	0.1 % p/v			5x10 <sup>-4</sup>	20	1 : 4
5	0.1 % p/v	5.1x10 <sup>-5</sup>	1.2	0.1 M			10.2x10 <sup>-5</sup>	1.01	5 : 1.02
5	0.1 % p/v	5.1x10 <sup>-5</sup>	1.1	0.1 N			10.2x10 <sup>-5</sup>	1.01	5 : 1.02
5	0.1 % p/v	5.1x10 <sup>-5</sup>	4.2	0.1 % p/v			10.2x10 <sup>-5</sup>	4.08	5 : 4.08

Tabla 4. *Titulación de tiosulfato de sodio con yodo. Indicador: almidón.*

Ecuación: $2 \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + \text{I}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6 + 2 \text{NaI}$									
REACTIVO A: $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$			REACTIVO B: $\text{I}_2$			<i>Rel.Exp.</i>	Relación Teórica		
V (mL)	Concentración	moles	$V_{prom.}$ (mL)	Concentración	moles	$V_A : V_B$	Moles B	Volumen B (mL)	$V_A : V_B$
4	0.1 M	$4 \times 10^{-4}$	2.1	0.1 M			$2 \times 10^{-4}$	2	2 : 1
4	0.1 M	$4 \times 10^{-4}$	3.9	0.1 N			$2 \times 10^{-4}$	4	1 : 1
4	0.1 M	$4 \times 10^{-4}$	5.2	0.1 % p/v			$2 \times 10^{-4}$	50.8	4 : 50.8
4	0.1 N	$4 \times 10^{-4}$	2	0.1 M			$2 \times 10^{-4}$	2	2 : 1
4	0.1 N	$4 \times 10^{-4}$	4.1	0.1 N			$2 \times 10^{-4}$	4	1 : 1
4	0.1 N	$4 \times 10^{-4}$	51.1	0.1 % p/v			$2 \times 10^{-4}$	50.8	4 : 50.8
4	0.1 % p/v	$16.1 \times 10^{-6}$	0.2	0.1 M			$0.8 \times 10^{-5}$	0.13	50 : 1
4	0.1 % p/v	$16.1 \times 10^{-6}$	0.15	0.1 N			$0.8 \times 10^{-5}$	0.25	25 : 1
4	0.1 % p/v	$16.1 \times 10^{-6}$	20.2	0.1 % p/v			$0.8 \times 10^{-5}$	3.21	1 : 5

Como ejercicio de aplicación se entregan a los estudiantes soluciones problema de permanganato de potasio, de concentraciones 0,1 M, 0,1 N ó 0,1 % p/v (disoluciones A, B y C), que tiene que identificar, según se indica en la tabla 5.

## 6. CONCLUSIONES GENERALES

La propuesta experimental obliga al alumno a revisar y repetir numerosas veces cálculos de masas molares, número de moles y concentración de disoluciones que, al referir a sus resultados experimentales, le permiten comprenderlos. La discusión de resultados que el profesor hace con ellos con base en las tablas planteadas le permiten al estudiante visualizar y comparar las diferentes formas de expresar la concentración de las disoluciones.

No es necesario que el alumno conozca previamente la técnica de la titulación. La aprende sobre la marcha al realizar la experimentación planteada.

Tabla 5. *Identifique la concentración de las disoluciones problema A, B y C.*

Ecuación: $2 \text{KMnO}_4 + 5 \text{H}_2\text{O}_2 + 3 \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2 \text{MnSO}_4 + 5 \text{O}_2 + 8 \text{H}_2\text{O} + \text{K}_2\text{SO}_4$									
REACTIVO A			REACTIVO B			<i>Rel.Exp.</i>	Relación Teórica		
V (mL)	Concentración	moles	$V_{prom.}$ (mL)	Concentración	moles	$V_A : V_B$	moles B	Volumen B (mL)	$V_A : V_B$
2	Disolución A			0.1 M					
2	Disolución A			0.1 N					
2	Disolución A			0.1 % p/v					
2	Disolución B			0.1 M					
2	Disolución B			0.1 N					
2	Disolución B			0.1 % p/v					
2	Disolución C			0.1 M					
2	Disolución C			0.1 N					
2	Disolución C			0.1 % p/v					

Por supuesto que la propuesta no es sencilla. Requiere por parte del profesor de laboratorio un amplio dominio de la Estequiometría, para guiar la discusión de los estudiantes hacia la comprensión de cálculos básicos de estequiometría y a comprender la relación existente entre las diferentes formas de expresar la concentración de las disoluciones.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Secretaria de Educación Pública, *Libro para el maestro. Educación Secundaria*, Ed. SEP, 2ª Ed. (2000).
2. A. Bascuñán, S. Bello, G. Hernández, P. Montagut, R. Sandoval, *Química 1. 2º Grado*, Ed. Limusa, México (1994).
3. F. Bonnet Romero, *Química 2*, Ed. Harla, México (1994).
4. F. Bonnet Romero, *Química 1. 2º Grado*, Ed. Harla, México (1994).
5. A. Cortés Juárez, R. G. Shirasago, *Química Práctica. 2º Grado*, Fernández Editores, México (1994).
6. G. García, J. Mejía, Mª. de la L. Rodríguez, *Química 2*, Ed. Castillo, México (1963).
7. R. León, M. Rodríguez, M. del P. Cuevas, L. Mata, *Descubre el mundo de la Química 1*, 2ª Ed., Ed. Prentice Hall, México (1998).
8. S. Mosqueira, R. Requena, *Química para Segundo Grado. El Hombre y la Química*, Ed. Patria, México (1994).
9. S. Otamendi, *Cuaderno de trabajo. 2º de Secundaria*, Ed. Progreso, México (2001).
10. H. Romo Marín, V. Delgado, J. B. Terrazas, *Química. 2º Grado*, Ed. Castillo, México (1994).
11. A. Solís, J. P. Zendejas, *Química. 2º Curso*, Ed. Santillana, México (1994).
12. J. F. Valdés., J. Valdez, O. Valdés., S. Cataño, M. G. Cervantes, B. Mendoza, *La Aventura con la Ciencia Química 1. 2º Grado*, Ed. Pedagógicas, México (1994).
13. A. P. Vallejo, A. Trejo, A. T. Martínez, *Química. 2º Grado*, Publicaciones Cultural, México (1994).
14. *Programa Oficial de la Escuela Nacional Preparatoria. Área II.*  
<http://dgenp.unam.mx/planes>.
15. R. Chang, *Química*, Ed. McGraw Hill, México (1991).
16. G. R. Choppin, L. R. Summerlin, *Química*, Publicaciones Cultural, México (1995).
17. A. Garritz, J. A. Chamizo, *Química*, Ed. Addison-Wesley (1994).
18. G. Garzón, *Fundamentos de Química General*, Ed. McGraw Hill, México (1999).
19. T. L. Brown, E. Le May, B. Bursten, *Química: la Ciencia Central*, Ed. Prentice Hall, México (1998).
20. W. Masterton, E. Slowinski, C. Stanitski, *Química General Superior*, Ed. McGraw Hill, México (1989).

21. K. Whitten, K. Gailey, R. Davis, *Química General*, Ed. McGraw Hill, México (1992).
22. Universidad Nacional Autónoma de México, *Programa de la Asignatura de Química General, Primer Semestre* (2003).
23. Universidad Nacional Autónoma de México, *Reforma de la Enseñanza Experimental. Guiones para el curso de Química General* (2002), p. 27-33.



# LA REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN APLICADA A UN PROBLEMA COTIDIANO

*Rosa Luz Cornejo Rojas, Yolanda Caballero Arroyo, Ignacio Buendía Villar*

Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México  
Ciudad Universitaria, 04510-México D.F. yca@servidor.unam.mx

## 1. INTRODUCCIÓN

En el estudio sobre investigación educativa realizado recientemente (1-3) se encuentra que los ejemplos cotidianos aplicados a la enseñanza de la Química Orgánica elevan el interés de los estudiantes hacia el aprendizaje de las ciencias experimentales.

Con la información obtenida del trabajo de Cornejo *et al.* (4) se diseñó un experimento para ejemplificar el tema de la transesterificación; el cual, a pesar de su importancia, no despierta interés cuando se realiza con los experimentos tradicionales.

Uno de los objetivos que se han marcado en las nuevas metodologías de la enseñanza experimental (2, 3), es la relevancia del tema que se desea enseñar; esto es que, si bien el alumno debe realizar un experimento que se encuentre dentro del programa que se imparte, es importante que el experimento se relacione con su vida cotidiana. Se pretende que el alumno haga de cada experimento un proyecto que le permita adentrarse en la investigación.

## 2. OBJETIVO

Diseñar un experimento que ejemplifique la reacción de transesterificación y que emplee materiales relacionados con la vida cotidiana del estudiante.

## 3. HIPÓTESIS

Siendo el PET un poliéster, puede usarse como materia prima para efectuar una reacción de transesterificación.

## 4. METODOLOGÍA

Los estudiantes emplean, conocen y desechan como residuo sólido no aprovechable, botellas y otros recipientes de PET que se acumulan en la basura con los consecuentes problemas para el ambiente. Como antecedentes, se pide que busquen el proceso de fabricación de este polímero, su composición y reciclaje.

Sabiendo que es un éster, se plantea como problema por resolver, el aprovechamiento del PET de desecho a través del experimento de transesterificación

De esta manera, el alumno correlacionará la Ciencia con la vida cotidiana y con la posibilidad de ayudar a mejorar el ambiente. Esto hará que el trabajo experimental sea relevante tanto para el alumno, como para el programa académico.

Los estudiantes trabajarán el experimento de acuerdo a la técnica experimental propuesta en el protocolo y que se resume en el siguiente párrafo.

#### **4.1. Procedimiento experimental**

En un matraz de fondo redondo de 50 ml con junta esmerilada se colocan 50 g de residuos de PET cortados en trozos pequeños, se agregan 10 ml de etilenglicol y 10 mg de acetato de zinc. Se coloca un refrigerante de agua en posición de reflujo y se calienta durante 90 minutos; se filtra en caliente, empleando vacío y se trasvasa el líquido a un matraz Erlenmeyer de 50 ml; se deja enfriar la solución y se induce la cristalización. El sólido obtenido se recupera por filtración con vacío. Se determina el punto de fusión, y el espectro de IR. Se calcula el rendimiento.

#### **4.2. Discusión y análisis**

Al concluir el experimento se analizan los resultados, se correlacionan con los antecedentes descritos en la literatura para estas reacciones y, mediante un cuestionario propuesto, se le induce a reflexionar y conectar la parte experimental realizada con los antecedentes teóricos y el objetivo originalmente planteado.

#### **4.3. Conclusiones del experimento**

Una vez concluido el análisis de sus resultados y contestado el cuestionario, se pedirá al alumno que verifique si la hipótesis planteada, se cumplió a través de la experimentación y de sus conclusiones.

### **5. CONCLUSIONES GENERALES DEL TRABAJO PROPUESTO**

1. El experimento propuesto cumple con los objetivos iniciales, puesto que es un experimento que se encuentra en el programa académico y que, además, induce al alumno a relacionarlo con la vida cotidiana.

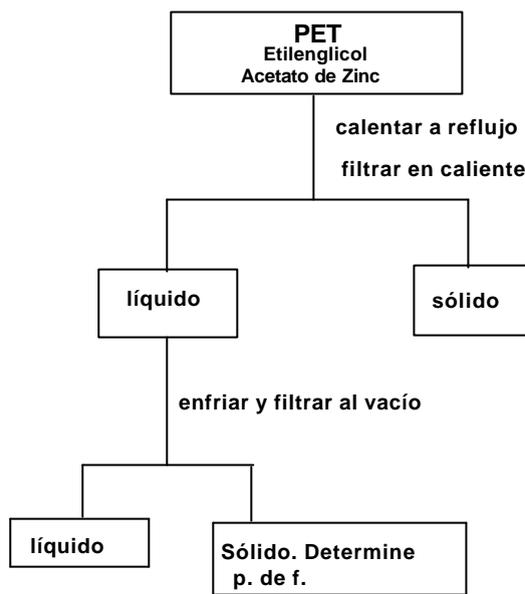
2. Permite al alumno darse cuenta que para ejemplificar una reacción, en este caso la transesterificación, se pueden emplear diferentes sustratos lo que amplía el número de compuestos orgánicos que se pueden sintetizar

3. La materia prima empleada en este experimento es un desecho sólido que constituye un problema ambiental.

4. La Química Orgánica nos permite transformar un desecho, cuyo manejo implica inversión económica, en productos químicos que pueden tener valor agregado, o que pueden ser empleados para sintetizar nuevamente el polímero

5.- Este experimento permitirá al alumno acercarse al tema del reciclaje y participar activamente en la mejora del medio ambiente.

Figura 1. *Diagrama Experimental.*



## 6. CUESTIONARIO

1. Investigue la estructura, propiedades y proceso de producción del PET.
2. ¿En qué consiste una reacción de transesterificación?.
3. ¿En qué consiste una reacción de glicólisis?.
4. Escriba las reacciones que se efectúan en los experimentos realizados. Considere al PET como tereftalato de polietileno.
5. ¿Cuál es el punto de fusión de los productos obtenidos en ambas reacciones?.
6. ¿Qué grupos funcionales observa en los espectros de IR de los productos obtenidos?.
7. Explique, con base en las reacciones químicas que pudieron llevarse a cabo, los resultados obtenidos.
8. Proponga otros derivados de interés que pueda obtener por transesterificación empleando PET y el alcohol necesario para hacer la reacción.

## BIBLIOGRAFÍA

1. S.J. Hawkes, *J. Chem. Educ.*, **2000**, Vol. 77, 321-326

2. D.G. Pérez, C. Valdés, *Enseñanza de las Ciencias*, **1996**, Vol. 14 (2) 155-163
3. R.R.L. Cornejo, A.Y. Caballero, V.I. Buendía, V.J.A. Ramírez, H.J.F. Ramírez, G.V. Ortiz. *La reacción de transesterificación aplicada al reciclaje de polímeros*. Memorias del Congreso de Educación **2001**, Revista Sociedad Química.
4. R.R.L. Cornejo, R.G. Mercado, A.Y. Caballero e I. Audelo, *Cotidianidad e interés en un curso experimental*. Memorias del XXV Congreso Latinoamericano de Química, Revista de la Sociedad Química de México.
5. D. Kaufman, G. Wright, R. Kroemer and J. Engel, *J. Chem. Educ.*, **1999**, Vol. 76, 1525-1526.
6. B.R. Seymour, *J. Chem. Educ.*, **1998**, Vol. 65, 327-334.
7. W.H. Carothers y G.B. Kauffman, *J. Chem. Educ.*, **1988**, Vol. 65, 803-808.

# CINÉTICA QUÍMICA: ANÁLISIS DE UNA EXPERIENCIA PRÁCTICA EN EL AULA

*Joaquín Martínez Urreaga*

Departamento de Ingeniería Química Industrial y del Medio Ambiente  
E.T.S. de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid  
José Gutiérrez Abascal 2, 28006-Madrid. jmartinez@etsii.upm.es

*Se presenta una experiencia personal, relativa a la utilización de una experiencia práctica, recogida del Journal of Chemical Education, como una herramienta para la enseñanza de la cinética química, y otras cuestiones, a nivel de primer curso universitario. En la experiencia, los alumnos llevan a cabo en el aula el proceso CARA ® CRUZ, lanzando monedas y anotando el número de caras que restan tras cada tirada. Se trata de la simulación de una reacción química elemental de orden 1. Esta experiencia permite trabajar en el aula varios de los conceptos fundamentales del tema, de forma flexible, integrando las enseñanzas de teoría, problemas y prácticas y fomentando la participación activa del alumno.*

## 1. INTRODUCCIÓN

La cinética química es una materia que resulta difícil de enseñar y aprender. A nivel de los cursos básicos de Química una de las causas de esta dificultad es sin duda la escasez de prácticas de laboratorio que se dedican a esta materia. En muchos cursos no se incluye ninguna práctica de cinética, y cuando se incluye alguna, se trata en muchos casos de prácticas basadas en reacciones reloj. En estas prácticas se trabaja con tiempos globales de reacción, por lo que resultan poco adecuadas para trabajar conceptos clave de la cinética química como son el manejo de curvas concentración-tiempo o la determinación de los parámetros cinéticos (orden y constante) a partir de esas curvas.

Realmente existen pocas prácticas de cinética que resulten adecuadas para los cursos básicos de química, esto es, que sean cortas para encajar en los apretados programas, que sean conceptualmente sencillas y que puedan realizarse sin emplear equipamiento complejo, de manera que puedan ser asimiladas por los alumnos de los primeros cursos. Por ese motivo resulta muy interesante disponer de alternativas a las prácticas de laboratorio convencionales.

Una primera alternativa serían las experiencias de cátedra. Son una especie de sucedáneo, más eficaces como herramienta de enseñanza-aprendizaje que las técnicas expositivas, pero menos que las prácticas de laboratorio porque no permiten la participación activa de los alumnos en su desarrollo.

Las simulaciones por ordenador son otra herramienta muy poderosa y utilizada en las enseñanzas de cinética química, en cuanto que permiten complementar

las prácticas de laboratorio y trabajar detenidamente muchos conceptos fundamentales (1-4). Pero estas simulaciones resultan especialmente útiles en cursos superiores, cuando los alumnos disponen del bagaje necesario para comprender realmente lo que hace el ordenador.

En este trabajo se discute el uso de una tercera posibilidad que elimina inconvenientes fundamentales de las dos anteriores, ya que está al alcance de los alumnos y todos participan activamente, y que puede ser por tanto una excelente herramienta de enseñanza-aprendizaje. Se trata de una experiencia práctica de cinética química, recientemente en J. Chem. Educ. (5). Los alumnos llevan a cabo en el aula con monedas el proceso  $CARA \rightarrow CRUZ$ , no reversible. Lanzas las monedas, eliminan las cruces y repiten el proceso, anotando el número de caras restantes tras cada tirada,  $N_{C,t}$ . Los alumnos obtienen así los valores experimentales de una curva  $N_C - t$ , análoga a las curvas concentración-tiempo (a volumen constante) de los procesos químicos convencionales. A partir de esos valores han de determinar los parámetros cinéticos (orden y constante de velocidad) del proceso, recogidos en la ecuación 1.

$$- (dN_C/dt) = k (N_C)^a \quad (1)$$

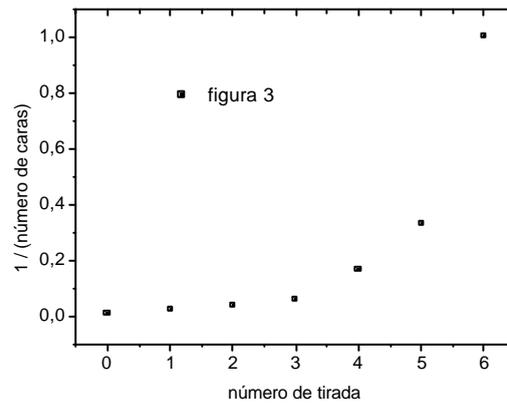
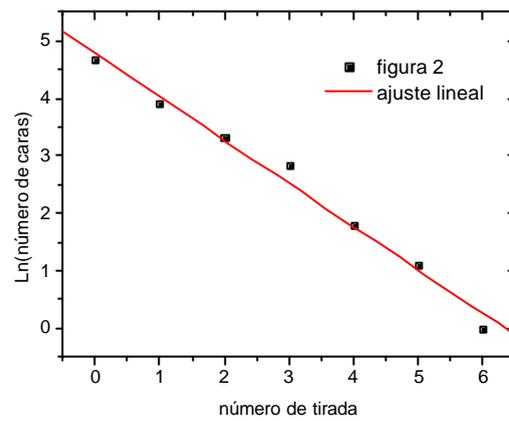
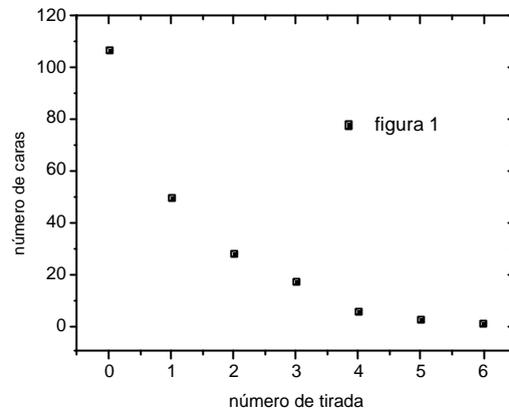
De esta manera se simula cualquier proceso no reversible de la forma  $C \rightarrow X$ , entre los que se encuentran muchos procesos reales, como descomposiciones térmicas y desintegraciones radiactivas, de gran interés. En otra comunicación, presentada a esta misma Jornada (6), se discute la validez de las experiencias basadas en lanzamientos de monedas como analogías para los procesos químicos, llegando a la conclusión de que se trata de una analogía muy adecuada, por su sencillez y porque la naturaleza esencial de ambos procesos es la misma.

La experiencia que se discute es versátil y puede utilizarse en diferentes cursos y a diferentes niveles. En esta comunicación se presenta la experiencia de su uso en un primer curso universitario, para trabajar conceptos fundamentales de cinética química y otros, como tratamiento de datos experimentales o introducción al equilibrio químico.

A continuación se presentan los resultados típicos obtenidos por los alumnos, para pasar luego a la discusión de algunas cuestiones que pueden trabajarse en el aula en torno a la realización de esta experiencia práctica.

## 2. RESULTADOS

Los alumnos han de determinar a partir de los datos registrados el orden  $a$  y la constante específica de velocidad,  $k$ . Para ello se les sugiere que representen gráficamente y analicen las curvas  $N_C - t$ ,  $\ln(N_C) - t$  y  $(1/N_C) - t$  (se supone que conocen la forma de las ecuaciones integradas de velocidad que corresponden a los órdenes 0, 1 y 2).



Figuras 1-3. Curvas  $N_C - t$ ,  $\ln(N_C) - t$  y  $(1/N_C) - t$  correspondientes al mismo experimento. La figura 2 incluye también el ajuste lineal de los datos experimentales (línea continua).

Las figura 1 a 3 recogen representaciones gráficas correspondientes a los valores obtenidos por los alumnos en un experimento típico.

En la figura 2 puede observarse que la representación  $\ln(N_c) - t$  es una recta, esto es, el proceso CARA  $\rightarrow$  CRUZ (y por tanto el proceso simulado  $C \rightarrow X$ ) es un proceso de orden 1. El ajuste lineal de los datos experimentales permite obtener la ecuación 2 (que se reproduce también en la figura2) y el valor de la constante específica de velocidad:

$$\ln(N_c) = 4,8 (\pm 0,14) - 0,75 (\pm 0,04) t \quad (2)$$
$$(R^2 = 0,9880)$$

### 3. DISCUSIÓN

A partir de la realización de esta experiencia práctica se pueden plantear una serie de cuestiones para desarrollar en el aula. A continuación se presentan algunas de estas cuestiones.

#### 3.1. Trabajo integrado sobre conceptos fundamentales de la cinética química

En primer lugar, en esta experiencia se trabaja sobre conceptos fundamentales de la cinética química, como son ecuaciones de velocidad diferencial e integrada, determinación de orden y constante específica de velocidad o, más adelante, relación entre mecanismo y ecuación de velocidad. Es importante reseñar que esta experiencia permite trabajar en el aula de forma integrada sobre esos conceptos, esto es, con una muy clara relación entre teoría, problemas y prácticas de laboratorio. Algunos autores (7) han puesto de manifiesto que un trabajo integrado de este tipo se asemeja mucho más a la actividad científica que un trabajo compartimentado en teoría, problemas y prácticas, a veces sin relación clara entre ellas, como el que suele realizarse a menudo. Por tanto, resulta más útil para fomentar el espíritu científico de los alumnos.

Un ejemplo de ejercicio que puede plantearse en esta discusión, tras haber analizado los resultados y haber determinado la ecuación de velocidad, es el siguiente:

*Expresa, mediante una gráfica y mediante una ecuación, cómo varía el número de cruces a lo largo de la experiencia realizada.*

#### 3.2. Tratamiento de datos

Una cuestión que salta inmediatamente a la vista en esta experiencia es el problema del tratamiento de datos experimentales. Muchos alumnos de primer curso se muestran incapaces no sólo de obtener la ecuación de una recta mediante un ajuste por mínimos cuadrados, sino también de realizar una gráfica científica sencilla, como las que se piden en esta práctica, con calidad aceptable. La realización de esta experiencia permite abordar esta cuestión, que es, desde mi punto de vista, una importante deficiencia de formación de los alumnos que llegan a la universidad.

### 3.3. Relación entre la ecuación de velocidad y el mecanismo

Otra cuestión a debatir con los alumnos es la posibilidad de conocer a priori, antes de la experiencia la ecuación de velocidad que luego se determina experimentalmente en la práctica. Puede hacerseles notar, por ejemplo, que si el proceso estudiado,  $C \rightarrow X$ , fuera una reacción química, podríamos proponer una ecuación de velocidad de orden 1 por tratarse de un proceso elemental.

Otra forma de plantearlo es considerar la naturaleza del proceso  $CARA \rightarrow CRUZ$ . Dado que, en cada lanzamiento, la probabilidad de que cada moneda sea cara es 0,5, cabe esperar que, *en promedio*, en cada tirada desaparezca la mitad de las caras restantes. Es decir, cabe esperar que el periodo de semirreacción ( $t_{1/2}$ ) sea igual a 1, constante e independiente del número inicial de caras. Este es el comportamiento característico de un proceso de orden 1, y además permite predecir el valor de la constante  $k$ , que coincide razonablemente con el valor experimental.

$$t_{1/2} = 1 = \text{Ln}2 / k \quad \Rightarrow \quad k = 0,693 \quad (3)$$

Esta discusión permite introducir conceptos como proceso elemental, mecanismo de reacción y relación con la ecuación de velocidad, planteando cuestiones del tipo: ¿por qué en los procesos químicos reales no podemos predecir la ecuación de velocidad a partir de la ecuación ajustada del proceso? Un ejercicio que se puede proponer en esta discusión sería:

*Imagine que llevamos a cabo una experiencia similar a la que estamos analizando, pero con dados de seis caras, para estudiar el proceso no reversible  $1 \rightarrow OTROS\ NÚMEROS$ . ¿Cuál sería en este caso el orden cinético?. ¿Cuánto valdría la constante específica de velocidad?*

### 3.4. Extensión a otros conceptos: introducción del equilibrio químico

El siguiente ejercicio puede emplearse para introducir cuestiones como la existencia del equilibrio químico, su justificación cinética o la naturaleza dinámica del equilibrio.

*Imagine que simulamos con monedas el proceso reversible  $CARA \rightleftharpoons CRUZ$ . Si partimos de 100 caras y 40 cruces, ¿cuántas caras y cruces cabe esperar tras la primera tirada?. ¿Y tras la segunda?. ¿Cuánto cabe esperar que valga la constante de equilibrio de ese proceso?.*

### 3.5. Fluctuaciones y variabilidad en las curvas $N_C - t$

Los resultados obtenidos en esta experiencia pueden dar lugar a otra discusión todavía. Como puede apreciarse en la figura 2, los resultados presentan fluctuaciones importantes en torno a los valores esperados, que vendrían dados por la recta del

ajuste lineal. Además, si se repite la experiencia se obtienen resultados similares pero no iguales. Los alumnos tienden a pensar que las fluctuaciones y la variabilidad son errores experimentales que carecen de significado. Pero en este caso no es así; esas fluctuaciones son reales e informan sobre la naturaleza de la reacción química (8, 9). Su estudio permite explicar el comportamiento de los procesos químicos que tienen lugar a muy pequeña escala, como por ejemplo algunos procesos que tienen lugar dentro de las células. Pero esta es una discusión que requiere más tiempo y espacio, por lo que se trata en una comunicación diferente (6).

#### 4. CONCLUSIÓN

En esta comunicación se ha discutido la utilización de una experiencia práctica, el proceso CARA → CRUZ, que permite simular una reacción química elemental de orden 1, como herramienta en la enseñanza de la cinética química a nivel de primer curso universitario. La experiencia ha obtenido una respuesta muy positiva de los alumnos y presenta características interesantes como herramienta de enseñanza, entre las que se pueden citar:

- *Flexibilidad*: permite trabajar sobre diferentes conceptos y a diferentes niveles.
- *Enfoque integrado*: permite integrar fácilmente las enseñanzas de teoría, problemas y prácticas, favoreciendo el desarrollo del espíritu científico de los alumnos.
- *Fomenta la participación activa del alumno*.
- *Economía*: no requiere reactivos ni equipamiento, ni muchos instructores, ya que puede realizarse perfectamente en grupos grandes.

#### REFERENCIAS

1. L.K. Steffen, P.L. Holt, *J. Chem. Educ.*, **1993**, Vol. 70, 991.
2. M.F. Bruist, *J. Chem. Educ.*, **1998**, Vol. 75, 372.
3. E. Harvey, R. Sweeney, *J. Chem. Educ.*, **1999**, Vol. 76, 1309.
4. E. Harvey, R. Sweeney, *J. Chem. Educ.*, **1999**, Vol. 76, 1310.
5. M. J. Sanger, R. A. Wiley, E. W. Richter y A. J. Phelps, *J. Chem. Educ.*, **2002**, Vol. 79, 989.
6. J. Martínez Urreaga, en *Didáctica de la Química y Vida Cotidiana*, Ed. Sección de Publicaciones E.T.S.I.I.-Universidad Politécnica de Madrid (2003).
7. M.C. Grasselli y V. Colasurdo, *Educación Química*, **2001**, Vol. 12, 233-240.
8. J. Martínez Urreaga, J. Mira y C. González, *Chem. Eng. Educ.*, **2003**, Vol. 36, 14.
9. J. Mira, J. Martínez Urreaga y C. González, *J. Chem. Educ.*, en prensa.

## EL PROCESO SOLVAY: UNA PRÁCTICA PARA ENLAZAR LA QUÍMICA INDUSTRIAL Y LA QUÍMICA COTIDIANA

*Adolfo Narros Sierra, Joaquín Martínez Urreaga, Frutos Pozas Requejo*

Departamento de Ingeniería Química Industrial y del Medio Ambiente

E.T.S. de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid

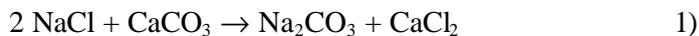
José Gutiérrez Abascal 2, 28006-Madrid

*Se presenta una práctica de laboratorio consistente en realizar el proceso Solvay a partir de productos químicos de uso cotidiano, para obtener una de las sustancias más importantes de la industria química inorgánica, el carbonato sódico o sosa Solvay. Este proceso reúne dos características que lo hacen muy interesante: el proceso se realiza a partir de productos químicos que se encuentran en casa de los alumnos, y permite discutir varias cuestiones fundamentales en Química, como balances, termodinámica y equilibrio, separación y purificación, seguridad y otras. Todo ello hace que esta práctica resulte muy útil para enlazar la Química industrial con los cursos de Química general o inorgánica y también con la Química de cada día.*

### 1. INTRODUCCIÓN

En contadas ocasiones tienen los alumnos la oportunidad de realizar en el laboratorio experimentos sencillos destinados a la obtención de productos de interés industrial. Esto es debido, sobre todo, a dificultades relacionadas con la naturaleza de los reactivos necesarios o las condiciones de reacción.

El proceso Solvay es el proceso industrial de obtención de carbonato sódico ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), también denominado sosa Solvay. Fue desarrollado por los hermanos Solvay en 1863 y todavía hoy día se utiliza para producir grandes cantidades de sosa necesaria para la fabricación de vidrios, jabones y papel (1). En el proceso de fabricación industrial se emplean materias primas muy abundantes como la sal común ( $\text{NaCl}$ ) y la caliza ( $\text{CaCO}_3$ ), y aunque parece un proceso sencillo si se tiene en cuenta la reacción global de obtención:



es en realidad un proceso complejo en el que se emplea amoníaco como compuesto intermedio y se consumen cantidades importantes de energía.

El proceso Solvay (2), además de ser uno de los pioneros de la industria química inorgánica, es fácil de realizar a escala de laboratorio pues, por un lado, se utiliza material corriente y la reacción tiene lugar en condiciones ambientales; y por otro lado, los reactivos necesarios son tan cotidianos como que forman parte de algunos limpiadores domésticos (agua fuerte y limpiacristales), en condimentos de cocina (sal común) o en objetos decorativos o estructurales (mármol).

En este trabajo se presenta una práctica de laboratorio sobre el proceso Solvay para impartir en asignaturas de Química General o Química Inorgánica a los alumnos de los primeros cursos de Ingeniería Industrial o Ingeniería Química.

La práctica está dividida en dos partes, la primera consiste en la obtención del hidrógenocarbonato de sodio (bicarbonato sódico,  $\text{NaHCO}_3$ ), empleando como reactivos amoníaco, ácido clorhídrico y carbonato de calcio. En ella se insiste a los alumnos que dichos compuestos forman parte, como componentes principales, de productos domésticos como limpiadores amoniacales ( $\text{NH}_3$ ), desinfectantes y desincrustantes como el agua fuerte ( $\text{HCl}$ ) u objetos decorativos hechos de mármol ( $\text{CaCO}_3$ ). Por otro lado, el bicarbonato sódico forma parte de la composición de productos de uso cotidiano como antiácidos estomacales y levaduras sintéticas.

La segunda parte consiste en la obtención del carbonato sódico ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) por calentamiento del hidrógenocarbonato de sodio, proceso en el que tienen lugar la deshidratación y descomposición térmica del bicarbonato.

Desde un punto de vista docente, esta práctica permite tratar aspectos muy importantes relacionados con:

- Equilibrio químico: estequiometría, ley de acción de masas, solubilidad, reacciones líquido-sólido-gas.
- Operaciones básicas: Absorción, generación de gases, cristalización, filtración.
- Importancia y aplicaciones, a escala industrial y a escala doméstica, de diversos productos químicos.

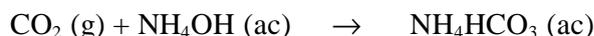
## 2. FUNDAMENTO TEÓRICO

La obtención directa de sosa según la reacción (1) no es posible debido a la baja solubilidad del  $\text{CaCO}_3$  que hace que dicha reacción esté desplazada hacia la izquierda. En la práctica el proceso Solvay transcurre según la siguiente secuencia de reacciones:

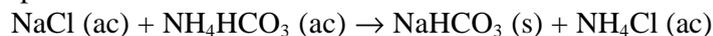
- a) Calcinación de la caliza para obtener dióxido de carbono y cal viva:



- b) Reacción del dióxido de carbono con hidróxido amónico para obtener bicarbonato amónico:



- c) Reacción en medio acuoso del bicarbonato amónico con cloruro sódico en la que precipita bicarbonato sódico que es la especie menos soluble de las que participan en la reacción:



- d) La disolución de cloruro amónico se trata con la cal que se obtiene en la reacción a) para recuperar el amoníaco y emplearlo en un nuevo ciclo:



El  $\text{CaCl}_2$  es el residuo del proceso.

- e) El bicarbonato generado en la reacción c) se separa por filtración, se seca y se calienta a 300 °C para obtener el carbonato sódico (sosa Solvay). En la reacción se desprende dióxido de carbono que se recupera y se emplea en un ciclo posterior:



Si el amoníaco que interviene en el proceso se recicla, únicamente se consume sal común y carbonato cálcico. En el proceso industrial no todo el amoníaco se recupera y por tanto existe un pequeño consumo de amoníaco en los procesos de producción de sosa.

En la práctica que nos ocupa se estudia el proceso Solvay con las modificaciones que se indican a continuación:

- 1) El proceso industrial se lleva a cabo en continuo mientras que en esta práctica se va a realizar el proceso con una determinada cantidad de sal común (proceso por lotes).
- 2) El dióxido de carbono necesario se obtiene por reacción de la caliza con ácido clorhídrico, en lugar de por calcinación (reacción descrita en a)).
- 3) El CO<sub>2</sub> se hace burbujear a través de una disolución que contiene NaCl y NH<sub>3</sub> en la que inicialmente se forma el bicarbonato amónico y posteriormente precipita bicarbonato sódico.

### 3. MATERIAL Y REACTIVOS

En esta propuesta de guión se emplea material de uso frecuente en un laboratorio de Química General, junto con productos químicos de uso doméstico. No obstante, a pesar de este carácter doméstico, agua fuerte, amoníaco y etanol son productos peligrosos que han de tratarse con la máxima precaución. Para el desarrollo de la práctica se necesita:

- Pies, nueces y pinzas de sujeción.
- Embudo de decantación.
- Matraz Erlenmeyer de 250 ml.
- Vaso de precipitado de 1000 ml.
- Probeta de 100 ml.
- Kitasato y embudo buchner.
- Tapón de goma.
- Tubo de goma de silicona.
- Crisol de porcelana.
- Vidrio de reloj.
- Papel de filtro.
- Tubos de ensayo.
- Etanol de 96°.
- Hielo.

- Sal común (NaCl).
- Trozos de mármol (CaCO<sub>3</sub>).
- Agua fuerte (HCl).
- Amoníaco para limpieza (NH<sub>3</sub>).

#### 4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Aunque existe alguna otra versión de esta práctica que requiere un montaje y un procedimiento experimental mucho más complejos (3), en este caso se ha optado por un diseño simplificado al máximo para hacer la práctica más barata y más segura.

##### 4.1. Obtención de NaHCO<sub>3</sub>

1. En un erlenmeyer de 250 ml, disolver 22 g de sal común (NaCl) en 75 ml de disolución de amoníaco 6M. Agitar la mezcla durante varios minutos, hasta que la sal esté completamente disuelta, y ponerla en una probeta de 100 ml. Introducir ésta en un vaso de precipitado de 1000 ml lleno de agua. Sujetar la probeta, para evitar que se derrame el líquido que contiene, empleando un pie, una nuez y un aro o pinza metálica.

2. En un kitasato colocar unos 300 g de trozos de mármol (CaCO<sub>3</sub>), conectar la salida lateral al tubo de silicona e introducir el extremo libre de éste en la disolución de manera que descansa en el fondo de la probeta. Llenar un embudo de decantación con agua fuerte (HCl) (Asegurarse de que la llave esté cerrada). Conectar el vástago del embudo con el tubo de vidrio que está unido al tapón de goma mediante un pequeño trozo de tubo de silicona y tapar herméticamente el kitasato con el tapón. Sujetar el embudo de decantación con una pinza a una altura suficiente para que el líquido que contiene pueda caer por goteo en el interior del kitasato. El montaje debe ser como el de la figura 1. Abrir la llave del embudo de decantación lentamente y dejar caer el ácido gota a gota sobre el mármol. Debido a la reacción se forma espuma y se desprende CO<sub>2</sub>, que debe burbujear a través de la disolución salina de la probeta. Si no es así comprobar que no hay fugas por el tapón o por el tubo de goma. El burbujeo debe ser vigoroso y regular; si es necesario, aumentar el ritmo del goteo del agua fuerte HCl. Se debe evitar, disminuyendo en su caso el ritmo de goteo, la formación de una cantidad excesiva de espuma, pues ésta podría pasar a la probeta y poner en peligro el experimento.

3. Después de unos 30-40 minutos aparece una ligera turbidez en la probeta que nos indica la formación de NaHCO<sub>3</sub>. Continuar burbujeando durante otros 10 minutos, añadir hielo al baño de agua y burbujear otros veinte minutos más. Al final se debe haber formado una cantidad apreciable de NaHCO<sub>3</sub>. Detener el goteo del ácido y sacar el tubo de la probeta. Enfriar en baño de hielo 10 ml de agua destilada y 10 ml de etanol al 96%. Mientras, desmontar el kitasato, eliminar adecuadamente los restos de la reacción y lavarlo con agua destilada.

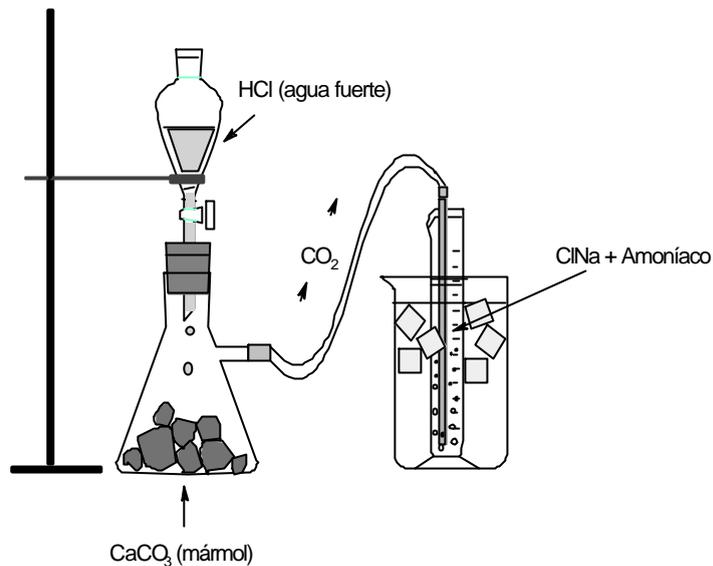


Figura 1. Montaje para la obtención de bicarbonato sódico.

4. Colocar un papel de filtro en el embudo buchner, colocarlo en el kitasato, aplicar succión y filtrar rápidamente la disolución fría recogiendo los cristales de  $\text{NaHCO}_3$ . Parar la succión y añadir 5 ml de agua fría, esperar 10 segundos y aplicar succión. Repetir la operación con otros 5 ml de agua fría. Por último lavar los cristales con dos porciones de 5 ml cada una de etanol. Secar el producto dejando la succión conectada durante 5 minutos.

5. Parar la succión, extraer con cuidado el papel de filtro y mediante una espátula recoger los cristales en un vidrio de reloj, de peso conocido, y pesar los cristales para calcular el rendimiento del proceso.

6. En un tubo de ensayo disolver una punta de espátula del producto en 2 ml de agua, comprobar el pH de la disolución utilizando papel indicador. Añadir unas gotas de agua fuerte y comprobar que hay desprendimiento de burbujas.

#### 4.2. Obtención de $\text{Na}_2\text{CO}_3$

1. Calentar un crisol de porcelana a  $300\text{ }^\circ\text{C}$  durante 15 min, dejar enfriar en desecador y pesar en la balanza analítica.

2. En el crisol de porcelana, previamente tarado, pesar en la balanza analítica alrededor de 1 g de  $\text{NaHCO}_3$  seco y calentar en el horno a  $300\text{ }^\circ\text{C}$  durante 15 min. Dejar enfriar en desecador y pesar. Determinar la pérdida de peso.

3. En un tubo de ensayo disolver una punta de espátula del producto en 2 ml de agua, comprobar el pH de la disolución utilizando papel indicador. Añadir unas gotas de agua fuerte y comprobar que hay desprendimiento de burbujas.

4. Escribir las reacciones y calcular los rendimientos de los procesos.

## **5. REFERENCIAS**

1. <http://www.solvay.com/solvayproducts/chemicals/productdetails/0,6412,837-2-0,00.htm>

2. <http://www.orica.com/resource/chemfact/pdffiles/sodiumc.pdf>

3. <http://www.njcmr.org/mpids/ACS/axaya/chem/lab4.html>

## TÉCNICAS INSTRUMENTALES DE ANÁLISIS QUÍMICO APLICADAS AL RECICLADO DEL PAPEL

*M<sup>a</sup>. Teresa Hernández Antolín, Alberto Cambra, Coralie Perronnet,  
Isabel Carrillo, Francisco Fernández Martínez*

Departamento de Química Industrial y Polímeros, E.U.I.T. Industrial  
Universidad Politécnica de Madrid, Ronda de Valencia, 28003-Madrid  
teresah@qi.upm.es

*En la fabricación de papel prensa en diferentes calidades, a partir de papel 100 % recuperado, la pasta obtenida a partir de revistas y periódicos usados, pasa por varios baños para separar el papel de la tinta. La parte útil, la destintada, sirve de nuevo para la fabricación de papel, quedando un rechazo, que contiene poco papel y mucha tinta. El objetivo de este trabajo ha sido estudiar los residuos de tinta de papel reciclado utilizando técnicas no convencionales de análisis químico (análisis térmico, difracción de rayos X y colorimetría), con el fin de estimar posibles usos y de valorizar este tipo de residuos.*

### 1. INTRODUCCIÓN

Por definición, el papel prensa está compuesto por una estructura fibrosa, que constituye el armazón interno de la misma (y le confiere sus propiedades mecánicas) y unos elementos de relleno que cubren los huecos de estas estructuras fibrosas (generalmente caolín y carbonato cálcico). En la industria de reciclado de papel, el pulpeado consiste en disgregar por flotación la estructura del papel impreso superficialmente y por fricción y flotación dispersar y eliminar la tinta sin dañar las fibras (1).

En el proceso de fabricación de papel a partir de papel reciclado, se pueden distinguir básicamente tres etapas: la elaboración de la pasta a partir de papel recuperado (fundamentalmente previstas y periódicos), fabricar el acondicionamiento final de la pasta antes de formar la hoja, y la producción de la hoja de papel. En la elaboración de la pasta tienen lugar varios procesos entre los que cabe destacar: pulpeado y depuración grosera por tamaños, depuración de alta consistencia, destintado, depuradores a baja consistencia y espesado, clarificación de aguas, dispersión en caliente y blanqueo. En estos procesos de producción del papel y cartón se generan una gran cantidad de materiales no deseados, variando su naturaleza en función de los materiales utilizados.

Como se ha indicado anteriormente durante el proceso de reciclado de papel, la pasta obtenida pasa por varios baños para separar el papel de la tinta, resultando una mezcla que contiene poco papel y mucha tinta, lodos de destintado. Por su naturaleza, por su humedad y sobre todo por su cuantía son difícilmente gestionables y suponen

costes importantes a medida que aumentan las restricciones a su vertido en vertedero controlado. Estos lodos no pueden considerarse, por su análisis químico, como residuos tóxicos y peligrosos, tampoco pueden ser considerados como residuos urbanos y la cantidad es tan alta que no pueden ser destinados a vertedero. Es necesario, por tanto, buscar algún tipo de utilidad que, si no en su totalidad, absorba al menos parte de ella. La última opción para estos lodos sería la incineración que resulta antieconómica. El volumen actual de residuos de tintas en la Comunidad de Madrid es del orden de 65.000 toneladas/año y se prevé que aumente en los próximos años.

Las proporciones de lodos de destintado por unidad de papel producidas varían ampliamente en función del tipo de papel producido, calidad y selección del papel de recuperación empleado. Así, las producciones de lodos de destintado son máximas en papel tisú, papel de oficina y papel prensa, si se emplean papel de recuperación de calidades semejantes. En cambio, son menores en la producción de papel para la fabricación de papel arrugado donde sin embargo las proporciones de rechazo pueden alcanzar valores muy elevados.

El objetivo de este trabajo es estudiar el residuo y buscar las posibilidades de su reutilización. Para ello se ha caracterizado el residuo por análisis térmico, estudiando las reacciones de descomposición e identificando las fase cristalinas formadas en cada una de las etapas por la técnica de difracción de rayos X. Así mismo, se ha utilizado la colorimetría (coordenadas  $L^*a^*b^*$ ) para analizar la evolución del color que experimentan las muestras obtenidas a diferentes temperaturas.

## **2. PARTE EXPERIMENTAL**

Diversas muestras de lodos de destintado procedentes de la empresa Holmen Paper fueron sometidas a un tratamiento inicial de desecación en mufla marca Heron a 110 °C durante 24 horas con el objeto de tener una muestra representativa independiente del grado de humedad.

Posteriormente, muestras de 15 g en diferentes cápsulas se sometieron a tratamiento térmico desde 125 a 1000 °C, con un intervalo de temperatura de 25 °C, durante 24 horas a la temperatura seleccionada en cada caso. Posteriormente, la muestra se introducía en un desecador hasta alcanzar temperatura ambiente, procediendo entonces a su pesada. Es necesario que destacar que debido a la heterogeneidad de las muestras analizadas no se han podido realizar ensayos de análisis térmico como termogravimetría o calorimetría diferencial de barrido.

Todas las muestras sometidas a tratamiento térmico a diferente temperatura se han estudiado posteriormente por difracción de rayos X y colorimetría.

El equipo utilizado para la difracción de rayos X es un difractómetro automático de la marca Siemens Kristalloflex 810 que tiene una lámpara de cobre y equipado con un monocromador de grafito y un detector proporcional. La muestra se coloca sobre un soporte plano en rotación alrededor de un eje horizontal. Para analizar

la muestra, se ha tomado una pequeña cantidad después de haberla triturado para obtener un polvo uniforme.

El colorímetro utilizado es LUCI 100 marca Dr. Lange, iluminante D65 y medida de luz difusa a 8°.

### 3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la Figura 1 se muestra, a título de ejemplo, la media del tanto por ciento en peso de las distintas muestra analizadas, previa desecación a 105 °C frente a la temperatura 125-1000 °C.

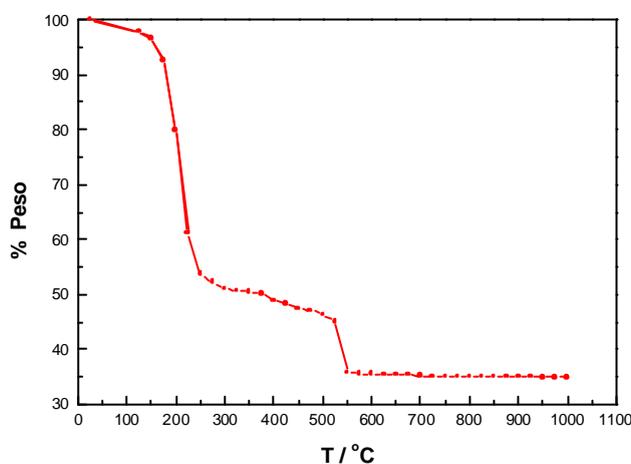


Figura 1. Termograma de las muestras de los lodos de destintado.

La degradación térmica de estos lodos muestra varias etapas claramente diferenciadas. La primera, con una pérdida de peso del 46,7% va hasta 250 °C, correspondiente a la combustión de la celulosa y a la pérdida parcial del agua de constitución del caolín. Entre 250 y 500 °C existe una tendencia asintótica de pérdida de peso en la cual se deshidrata totalmente el caolín, dando productos amorfos, no detectables por rayos X. En la siguiente etapa, de 535 a 550 °C, se produce la descomposición del  $\text{CaCO}_3$ . Por último, el peso se mantiene constante a partir de 600 °C hasta 1000 °C.

En la Figura 2 se muestran los difractogramas de las distintas muestras sometidas a diferentes temperaturas: 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000 y 1100 °C. A temperaturas inferiores a 300 °C no se consideran, debido a que los residuos todavía tienen compuestos orgánicos.

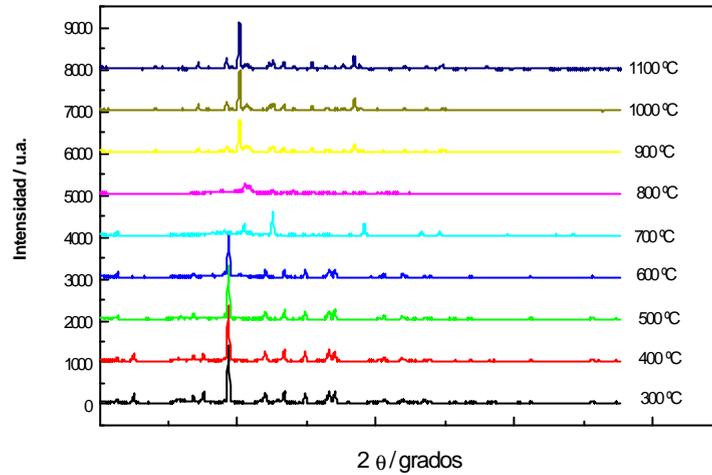


Figura 2. Difractogramas de rayos X a diferentes temperaturas.

Los gráficos a 300, 400, 500 y 600 °C tienen una gran semejanza, apareciendo los picos a los mismos ángulos de difracción, por lo que tienen análoga composición. Del análisis de estos resultados mediante el programa Fullprof (2) se detecta la presencia de caolín (3) y la existencia de una gran cantidad  $\text{CaCO}_3$  (calcita) (4) (ver figura 3), que posteriormente se descompone dando  $\text{CaO}$  (5) (ver figura 4). A estas temperaturas, el caolín deshidratado, está en estado amorfo, no detectándose por medio de esta técnica.

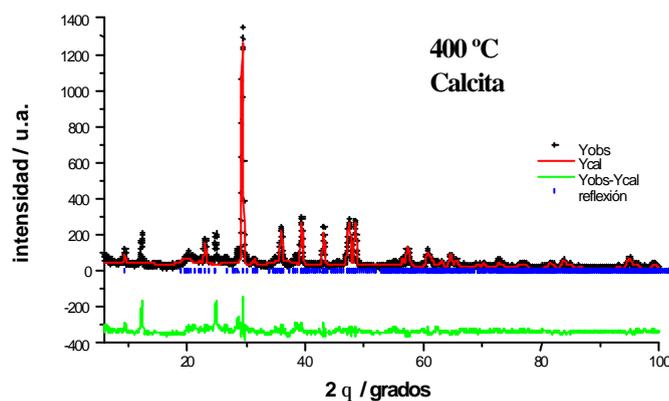


Figura 3. Difractogramas obtenidos para la muestra tratada a 400°C, observado (+), calculado en continuo y diferencia (gráfico inferior). Las marcas verticales indican la posición de las reflexiones.

Análogamente, con un tratamiento similar para las muestras calentadas hasta 700 °C se comprueba la existencia de un componente mayoritario, el CaO [5] (ver Figura 4) y a 900, 1000, 1100 °C existe una mayoría de silicatos complejos de calcio y aluminio.

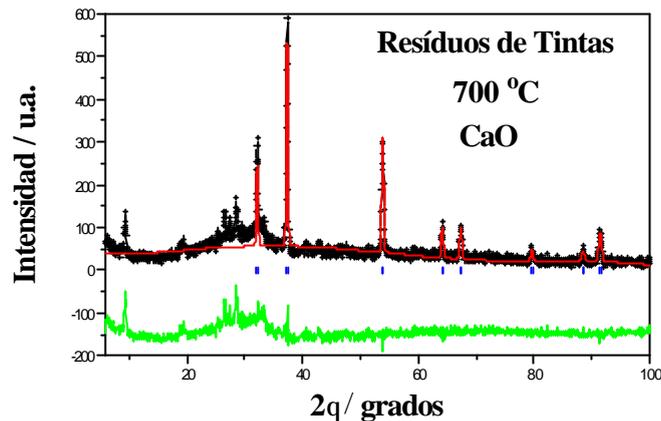


Figura 4. Diffractograma obtenido para la muestra tratada a 700 °C, observado (+), calculado en continuo y diferencia (gráfico inferior). Las marcas verticales indican la posición de las reflexiones.

El estudio de las coordenadas de color  $L^*a^*b^*$  (colorimetría) del lodo tratado a las diferentes temperaturas se muestra en la figura 5.

Como se observa inicialmente, la coordenada acromática  $L^*$ , (que tiene un valor de 0 para el negro y de 100 para el blanco) muestra que la variable  $L^*$  inicialmente disminuye hasta la temperatura de 200 °C, coincidiendo con la “tostación” del componente celulósico del papel, aumentando posteriormente su valor hasta 90, a la temperatura de 600 °C y manteniendo un valor prácticamente constante a partir de esta temperatura.

El valor de las componentes cromáticas  $a^*$  y  $b^*$  es pequeño, manteniéndose prácticamente constante y disminuyendo gradualmente hasta alcanzar su valor mínimo en los productos obtenidos a altas temperaturas, característicos de un material prácticamente blanco.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a *Holmen Paper-Papelera Peninsular* las facilidades prestadas, así como al *Ministerio de Ciencia y Tecnología* por la financiación del proyecto MAT. 2000-0753-C02-02.

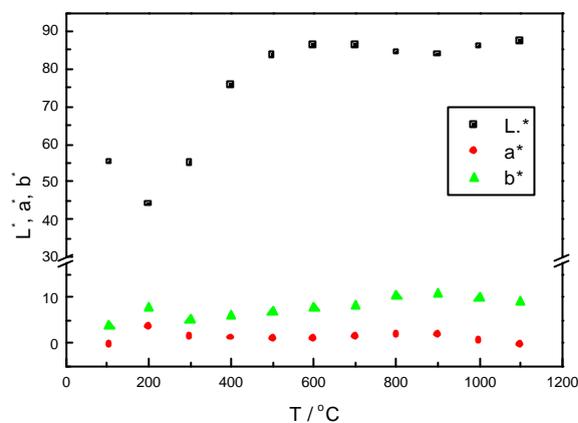


Figura 5. Representación de coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  frente a la temperatura.

## REFERENCIAS

1. Holmen Paper-Papelera Peninsular, *Guía técnica: Características de los papeles prensa en la impresión Offset Coldset* (2001).
2. J. Rodríguez Carvajal, *FULLPROF: A program for Rietveld refinement and pattern matching analysis*, *Abs. Of Satellite Meet. On Powder Diffraction of XV Congress of Int. Union of Crystallography, Toulouse*, **1990**, 127.
3. H. Chessin, W.C. Hamilton, B. Post, *Acta Crystallographica*, **1967**, Vol. 20, 1948.
4. H. Chessin, W.C. Hamilton, B. Post, *Acta Crystallographica*, **1965**, Vol. 18, 689.
5. W. Gerlach, *Zeitschrift für Physik*, **1922**, Vol. 9, 184.

## Parte III

---

# Simulaciones y Analogías



## VELOCIDAD DE LA REACCIÓN QUÍMICA: MODELOS Y ANALOGÍAS

*Joaquín Martínez Urreaga*

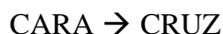
Departamento de Ingeniería Química Industrial y del Medio Ambiente  
E.T.S. de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid  
José Gutiérrez Abascal 2, 28006-Madrid. [jmartinez@iqi.etsii.upm.es](mailto:jmartinez@iqi.etsii.upm.es)

*En este trabajo se analizan los resultados obtenidos en la simulación de una reacción química realizada con monedas en el aula. Se pretende discutir la validez de las experiencias con monedas como analogías de los procesos químicos y la utilidad de las ecuaciones que empleamos para describir la evolución de las concentraciones durante las reacciones químicas. El análisis de los resultados indica que las experiencias con monedas son analogías adecuadas para los procesos químicos. Las ecuaciones mencionadas son sólo modelos simplificados, que suponen una descripción adecuada del proceso en la mayoría de los casos, pero que resultan insuficientes cuando en la reacción interviene un número pequeño de moléculas.*

### 1. INTRODUCCIÓN

¿Qué relación existe entre una reacción química en la que unas moléculas desaparecen y una experiencia con monedas en la que las monedas cambian de cara a cruz?. A primera vista puede parecer que ninguna, pero si analizamos la cuestión veremos que existe una relación bastante estrecha. Se trata de una analogía bien fundamentada, que permite simular reacciones químicas mediante sencillas experiencias con monedas, y que puede tener por tanto un elevado valor como herramienta de enseñanza-aprendizaje.

En otra comunicación presentada a esta misma Jornada (1), se ha discutido en detalle una experiencia práctica que los alumnos pueden realizar en el aula con monedas. Se trata del proceso:



en el que los alumnos lanzan las monedas y cuentan el número de caras que queda en cada tirada, tras retirar las cruces que han aparecido. De esta manera simulan la reacción química no reversible:



que describe muchos procesos reales, como descomposiciones térmicas y desintegraciones radiactivas, de gran interés.

Esta experiencia permite trabajar sobre muchos de los conceptos clave de la cinética química, como son orden, constante de velocidad, determinación de la ecuación de velocidad, ecuación integrada de velocidad, energía de activación o mecanismo de reacción. En cuanto al valor como herramienta educativa, estas

simulaciones con monedas resultan herramientas eficaces al mismo tiempo que atractivas para los alumnos, por su carácter dinámico, porque fomentan la participación activa y porque permiten integrar teoría, problemas y práctica de laboratorio.

En esta comunicación se pretende analizar la validez de las experiencias con monedas como analogías de los procesos químicos. Más específicamente, se pretende discutir el uso de estas experiencias para trabajar con los alumnos cuestiones como la naturaleza de la reacción química y la utilidad de los modelos que empleamos para describir la evolución de las concentraciones de reactivos y productos durante las reacciones químicas. Para ello, se analizan los resultados experimentales obtenidos en la experiencia citada (CARA  $\rightarrow$  CRUZ) y se discuten los modelos empleados para describir esos resultados.

## 2. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 1 muestra dos series de valores (número de caras,  $N_C$ , en función del número de tirada,  $t$ ) obtenidos en dos replicaciones del experimento citado. Como se ha mostrado en la comunicación antes citada (1), estos datos indican que se trata de un proceso de orden 1, esto es, los datos experimentales  $N_C - t$  se ajustan a (pueden describirse mediante) las siguientes ecuaciones:

$$N_C = N_{C,0} \cdot e^{-kt} \quad (1)$$

$$\ln(N_C) = \ln(N_{C,0}) - kt \quad (2)$$

donde:

$N_{C,0}$  = número inicial de caras, y

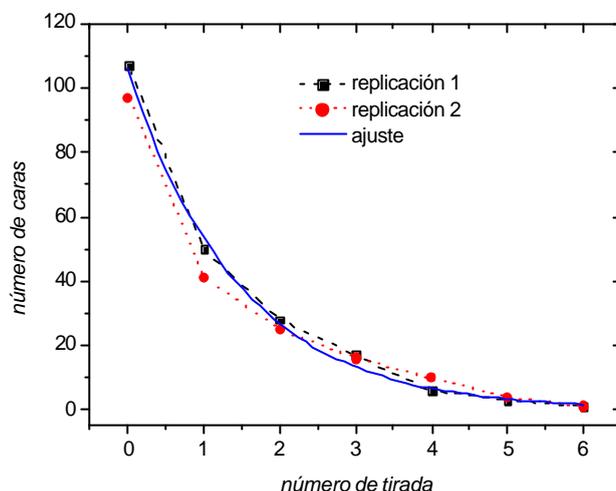
$k$  = constante específica de velocidad (= 0,693 en este caso).

En la figura 1 se incluye también, en línea continua, la curva exponencial (según la ecuación 1) que mejor se ajusta a los resultados experimentales de la primera replicación.

Además de la información sobre el orden cinético, la figura 1 muestra al menos otros dos resultados interesantes: la diferencia entre las dos replicaciones y las diferencias entre los resultados medidos experimentalmente y la curva del ajuste exponencial. Muchos alumnos creen que estas diferencias carecen de importancia, que es la curva exponencial la que describe la realidad de los hechos y que las desviaciones experimentales son errores sin significado alguno.

Pero en este caso no es así. Se puede preguntar a los alumnos por las causas de los errores experimentales, porque si las monedas son iguales, la agitación no influye (siempre que sea suficiente) en la probabilidad de que salga cara o cruz, y no nos hemos equivocado contando las monedas, ¿qué otras fuentes de error existen?. Y, si

no hay fuentes de error, ¿a qué se deben las desviaciones experimentales y las diferencias entre replicaciones?



Figural. Curvas  $N_C - t$  obtenidas en dos replicaciones de la misma experiencia (líneas discontinuas). La línea continua es el ajuste Exponencial de los datos de la replicación 1.

De las respuestas de los alumnos parece como si pensarán que la naturaleza se equivoca, que es “ruidosa” y “poco exacta”. Podríamos pensar que en la percepción de los alumnos se ha sustituido, a todos los efectos y de forma automática, la realidad (los valores experimentales) por el modelo (la curva del ajuste exponencial). Parece que una mayoría de los alumnos no es consciente de que el modelo es sólo una versión resumida, simplificada, que empleamos para describir más fácil y rápidamente una realidad más compleja, con más matices.

Esa suplantación automática de la realidad por el modelo simplificado, que sin duda fomentamos con nuestros métodos de enseñanza de la química (aunque seguramente sucede también en otras asignaturas), plantea serias dudas sobre la capacidad de comprensión de la naturaleza por parte de nuestros alumnos. Aunque todos estamos de acuerdo en la utilidad del empleo de modelos simplificados, quizás debiéramos plantearnos qué modelos y aproximaciones emplear en la enseñanza de la química, y sobre todo cómo hacer comprender a nuestros alumnos que se trata de modelos, no de la realidad, y por qué los empleamos.

Otra manera de explicar a los alumnos el significado de las variaciones observadas en los resultados experimentales es analizar detenidamente los números medidos y la naturaleza del experimento realizado y, al mismo tiempo, de la reacción química simulada. Supongamos que partimos de 100 monedas (caras). Como se ha

mostrado previamente (1), el periodo de semi-reacción en este proceso es 1 tirada, por lo que *el modelo predice* la siguiente serie de valores:

Tabla 1. *Valores esperados, según el modelo, en la experiencia CARA → CRUZ, cuando se parte de 100 caras.*

<i>Número de tirada, t</i>	0	1	2	3	4	5
<i>Número de caras, N<sub>c</sub></i>	100	50	25	12,5	6,25	3,125

En esta serie hay incongruencias (aparentes). En la tirada 3 no podemos esperar tener 12,5 caras, y es imposible que en la tirada 4 sean 6,25. El número de caras ha de ser entero. Es importante recordar que lo mismo sucede cuando son moléculas que reaccionan o isótopos que se desintegran, el número ha de ser entero. Esto significa que el modelo empleado no puede predecir con exactitud lo que sucede en la realidad, al menos cuando trabajamos con valores numéricos como estos.

Para encontrar la solución a estas aparentes incongruencias hemos de revisar la naturaleza de la reacción química, como ha hecho recientemente De Levie en un magnífico artículo (2). Si consideramos cada reacción química individualmente, tendremos que reconocer que se trata de un fenómeno aleatorio. Consideremos una molécula térmicamente inestable. Como dice De Levie, ella no sabe cuándo tiene que descomponerse para cumplir con una cinética de orden 1. Simplemente, existe una probabilidad determinada de que se descomponga en una unidad de tiempo, lo que nos lleva a que exista una probabilidad determinada de que una fracción dada de las moléculas presentes se descomponga en una unidad de tiempo. Pero, naturalmente, también existe la posibilidad de que se descomponga algo más o algo menos, cada una de ellas con su correspondiente probabilidad.

En nuestra experiencia con monedas sucede lo mismo. En la tirada 3 hay una probabilidad determinada de que queden 12 caras, pero también hay otras probabilidades determinadas de que queden 11, 13 o 14. La razón última de que el comportamiento sea el mismo es que las experiencias con monedas y las reacciones químicas tienen una esencia común; ambos son procesos de naturaleza probabilística. Este comportamiento similar hace que las experiencias con monedas sean excelentes analogías para los procesos químicos.

En estos procesos probabilísticos, cuando se realizan con números pequeños como los usados en nuestra experiencia, es muy probable que aparezcan fluctuaciones importantes alrededor de la predicción de la curva del ajuste exponencial. Igualmente, es muy probable que dos replicaciones del experimento conduzcan a resultados ligeramente diferentes. Como hemos visto en la figura 1, esto es lo que sucede en la realidad. Esta parte del comportamiento de estos procesos no puede ser descrito

utilizando como modelo la curva del ajuste exponencial. Esta curva sólo describe el comportamiento promedio es la media de las diferentes curvas experimentales (3).

Si se quiere describir el comportamiento cuantitativo detallado de los procesos probabilísticos, incluyendo las fluctuaciones y la variabilidad, se ha de recurrir a modelos estocásticos como los que se han descrito en trabajos previos (3, 4, y referencias incluidas en ellos). No obstante, la elaboración de estos modelos requiere conocimientos de estadística que no poseen la mayoría de los alumnos de primer curso (aunque quizás sí puedan manejar esos modelos).

Una pregunta que puede uno plantearse a continuación es: ¿significa lo dicho hasta ahora que la curva exponencial no sirve ya como modelo para describir la evolución temporal de la concentración de reactivo en un proceso de orden 1?. La respuesta debe ser muy clara en este punto: *la curva del ajuste exponencial es sólo un modelo simplificado, que puede describir una parte de la realidad de los procesos de orden 1, la tendencia general en la evolución temporal, pero que deja sin tratar aspectos que pueden ser relevantes en algunos casos, como son las fluctuaciones y la variabilidad entre experimentos.*

Además, este modelo simplificado es una descripción muy adecuada para la gran mayoría de las reacciones químicas. Imaginemos lo que sucede en una reacción similar a la que hemos considerado antes, una descomposición con un periodo de semirreacción de 1 día, pero en la que trabajamos con las magnitudes que solemos emplear habitualmente en química:

Tabla 2. Valores esperados, según el modelo, en la experiencia  $A \rightarrow$  productos, de orden 1, cuando se parte de 0,166 moles de A.

Tiempo, $t$ (días)	0	1	2	3	4
Concentración, $N$ $n^\circ$ moléculas / L	$100 \cdot 10^{21}$	$50 \cdot 10^{21}$	$25 \cdot 10^{21}$	$12,5 \cdot 10^{21}$	$6,25 \cdot 10^{21}$

La magnitud de los números en este caso implica dos cambios importantes:

- 1) El problema de los números no enteros deja de ser importante;  $6,25 \cdot 10^{21}$  es un número entero y perfectamente razonable. Sólo aparecen números no enteros cuando la concentración de A es prácticamente 0, y el proceso ya no nos interesa.
- 2) Las fluctuaciones, y la variabilidad, son despreciables cuando se trabaja con números grandes. Como demostró Gillespie (5), las fluctuaciones esperadas en torno al valor medio del número de moléculas en cada momento son del orden de  $N^{1/2}$ . Esto es, si N es del orden de  $10^{22}$ , las fluctuaciones son del orden de  $10^{11}$ , que es un valor absolutamente despreciable frente a  $10^{22}$ .

Así pues, las deficiencias del modelo simplificado son despreciables cuando trabajamos con números grandes. Y si en la gran mayoría de los casos en química trabajamos con números grandes, ¿para qué necesitamos la discusión anterior sobre la naturaleza de la reacción química y la validez de los modelos simplificados? La respuesta que me gustaría transmitir es que esa discusión es necesaria, a pesar de todo, por tres motivos:

- En primer lugar, porque existen muchos procesos biológicos, de la máxima importancia, que dependen de un número muy bajo de moléculas, a veces menos de 10 o incluso una sola, porque se realizan en el minúsculo volumen de una célula y a muy bajas concentraciones. En estos casos las fluctuaciones y la variabilidad existen y se pueden medir, y además son muy importantes. Según algunos autores, pueden jugar un papel relevante no sólo en el desarrollo de algunas enfermedades, sino también en la evolución de los seres vivos (2, 6). De forma más general, debemos tener en cuenta que la química y la ingeniería química están desplazando su interés hacia escalas cada vez más bajas, donde los efectos estocásticos son cada vez más importantes (7).

- En segundo lugar, porque la discusión permite mostrar la naturaleza aleatoria de la reacción química.

- Finalmente, porque es importante conocer los modelos que utilizamos, saber que son modelos simplificados de la realidad y conocer su rango de validez y los casos en los que no deben emplearse.

### 3. CONCLUSIONES

- 1) Las experiencias con monedas son muy adecuadas para simular reacciones químicas. Ambos procesos son probabilísticos.
- 2) La curva exponencial que empleamos para describir la evolución temporal en una cinética de orden 1, obtenida del ajuste de los datos experimentales, es un modelo aproximado que resulta adecuado para reacciones que implican un gran número de moléculas.
- 3) Ese modelo aproximado no puede explicar ni predecir las fluctuaciones y la variabilidad que aparecen en los procesos que implican un número pequeño de partículas, procesos de importancia creciente en Química.

### REFERENCIAS

1. J. Martínez Urreaga, en *Didáctica de la Química y Vida Cotidiana*, Ed. Sección de Publicaciones E.T.S.I.I.-Universidad Politécnica de Madrid (2003).
2. R. De Levie, *J. Chem. Educ.*, **2000**, Vol. 77, 771.
3. J. Martínez Urreaga, J. Mira y C. González, *Chem. Eng. Educ.*, **2003**, Vol. 36, 14.
4. J. Mira, J. Martínez Urreaga y C. González, *J. Chem. Educ.*, en prensa.
5. D. Gillespie, *Markov Processes: an Introduction for Physical Scientists*, Academic Press, New York (1984).

6. H.H. McAdams y A. Arkin, *Trends in Genetics*, **1999**, Vol. 15 (2), 65.
7. J.B. Rawlings y J.G. Ekerdt, *Chemical Reactor Analysis and Design Fundamentals*, Nob Hill Publishing (2002).



# ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA PLANTA DE ÁCIDO NÍTRICO MEDIANTE SIMULACIÓN

*Ángel Fernández Tena*<sup>1</sup>, *María M. Prieto García*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Química y Textil, Facultad de Ciencias Químicas  
Universidad de Salamanca. aftena @usal.es

<sup>2</sup> Departamento de Estadística, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca

*Se expone una aplicación para microordenador que tiene por finalidad simular un proceso de obtención de ácido nítrico a partir de la oxidación catalítica de amoníaco, destacando las etapas más importantes.*

## 1. INTRODUCCIÓN

El procedimiento empleado actualmente para la producción industrial de ácido nítrico es a partir de la oxidación catalítica del amoníaco (1,2).

Este procedimiento puede desglosarse en los siguientes pasos:

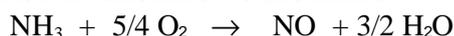
- Oxidación de amoníaco a óxido nítrico.
- Oxidación de óxido nítrico a dióxido de nitrógeno.
- Absorción de los óxidos de nitrógeno formados.
- Depuración de gases residuales.

El primer paso es rápido, mientras que el segundo y tercero son lentos y de ellos depende la capacidad de producción

El último apartado no es fundamental para la producción, pero su consideración es muy importante debido a los problemas de polución atmosférica que puede ocasionar.

Las reacciones que tienen lugar en este proceso son:

- Oxidación del amoníaco a óxido nítrico:



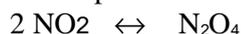
En esta oxidación hay que tener en cuenta que la mezcla amoníaco-oxígeno resulta explosiva en determinados límites, que son función de la presión. En la práctica, la relación entre el oxígeno del aire y el amoníaco sobrepasa el valor de 1,73, para estar fuera de los límites de explosión.

- Oxidación de óxido nítrico a dióxido de nitrógeno.



La reacción es espontánea, pero lenta a presión atmosférica. A temperatura ambiente, el equilibrio está totalmente desplazado hacia la formación de NO<sub>2</sub>.

- Equilibrio del peróxido de nitrógeno:



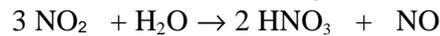
El monóxido de nitrógeno se encuentra en equilibrio con su forma dímera (el tetraóxido de dinitrógeno) y, mientras que el monómero es coloreado, de color

castaño, el dímero es incoloro. Este equilibrio se considera que se alcanza de forma instantánea.

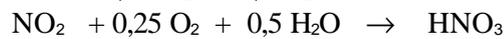
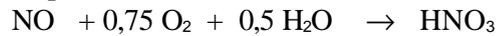
Aunque la forma dímica es la más reactiva, muchos autores sólo consideran el  $\text{NO}_2$  equivalente, que se define como:

$$\text{NO}_2 \text{ equivalente} = \text{moles NO}_2 + 2 \cdot (\text{moles N}_2\text{O}_4)$$

- Absorción de los óxidos de nitrógeno:

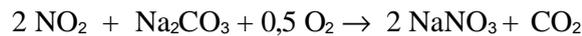


Es un proceso conjunto de absorción-reacción, pues el dióxido que pasa de la fase gaseosa a la líquida reacciona con el agua, formando ácido nítrico, y produciéndose óxido nítrico, el cual debe ser nuevamente oxidado. Por ello, estas columnas de absorción reciben los nombres de columnas de absorción-oxidación. De forma operativa se puede describir como:



- Depuración de gases residuales:

La adición de una disolución alcalina, como puede ser  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , permite la depuración de los gases residuales, según las reacciones:



En la Figura 1 se muestra el diagrama de flujo de un proceso de obtención de ácido nítrico, donde aparecen claramente diferenciadas las tres etapas fundamentales del proceso.

La oxidación del amoníaco a óxido nítrico tiene lugar en el convertidor de amoníaco 1, el cual es alimentado por una corriente de amoníaco y otra de aire o aire enriquecido con oxígeno, obteniéndose como productos una mezcla de óxidos de nitrógeno junto con oxígeno, nitrógeno y vapor de agua, que se denominan gases nitrosos.

Estos gases nitrosos sufren un proceso de enfriamiento, en el cambiador de calor 2, como consecuencia del cual se origina un condensado, consistente en ácido nítrico diluido, que es utilizado posteriormente en la torre de absorción 4, como líquido absorbente, y una corriente gaseosa que alimenta a la torre de oxidación 3, de donde los óxidos de nitrógeno se oxidan a dióxido de nitrógeno, denominándose a la corriente de salida gases nítricos.

Estos gases nítricos alimentan a la columna de absorción 4, donde se absorben con el agua y el ácido condensado, indicado anteriormente, obteniéndose el ácido nítrico producto de la instalación y los gases residuales, consistentes en nitrógeno, oxígeno, vapor de agua y el resto de los óxidos de nitrógeno no absorbido.

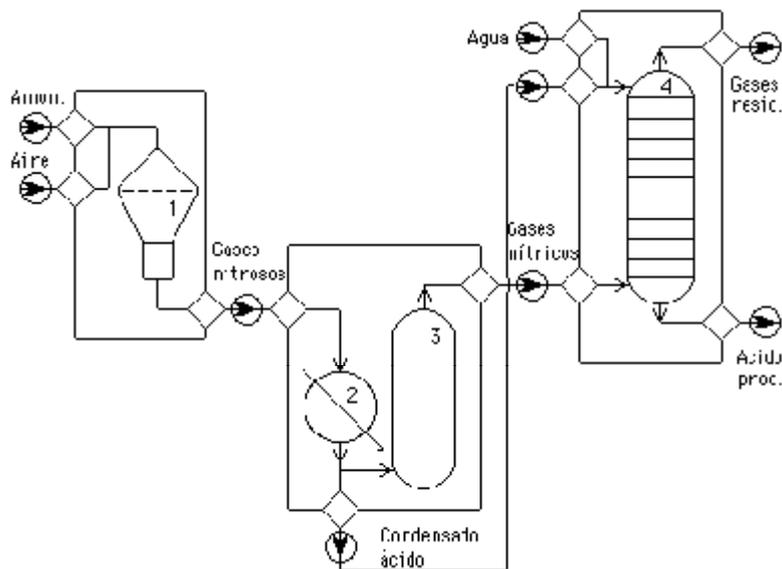


Figura 1. Descripción del proceso según el diagrama de flujo del proceso.

## 2. SIMULACIÓN

La aplicación tiene por finalidad simular un proceso de obtención de ácido nítrico a partir de la oxidación catalítica de amoníaco, destacando las etapas más importantes anteriormente indicadas.

Al iniciar la simulación sobre pantalla aparece el diagrama de flujo del proceso junto con las opciones, en forma de botones:

- Convertidor de  $\text{NH}_3$ .
- Torre de oxidación de  $\text{NO}$ .
- Columna de absorción-oxidación.

Son opciones que permiten ejecutar cada una de las tres partes en que se divide la simulación.

Las tres partes presentan un paralelismo formal en cuanto a su ejecución. Todas ellas constan de tres pantallas, en la primera de las cuales aparece una información previa relacionada con el apartado elegido, en la segunda aparece el correspondiente diagrama de flujo, donde de forma interactiva se podrán ir fijando, mediante cursores de desplazamiento, los valores de las variables que intervienen en el proceso, obteniéndose por pantalla, de forma inmediata, la respuesta de la simulación a los valores introducidos y finalmente una tercera pantalla donde aparece el balance de materia completo de la etapa elegida, correspondiente a los valores de las variables fijadas.

La simulación está construida de tal manera que el intervalo en el que pueden modificarse los valores de las variables correspondan a casos teóricamente posibles y reales. En esta línea, no se podrá fijar para una variable un valor que no tenga sentido físico o presente inconveniente real de ejecución; así no se podrá fijar una mezcla cuya composición resulte explosiva, como puede ocurrir en el caso de las mezclas amoníaco-oxígeno. En este mismo sentido, cuando se fijan los valores de composición de una mezcla que pase a la torre de oxidación o a la columna de absorción-oxidación, se considera que ésta proviene de la etapa anterior y los márgenes en que su composición puede definirse están limitados por el hecho de que dicha mezcla sea posible; así, en una corriente que entra en la torre de oxidación, que se supone proviene del convertidor, la cantidad de oxígeno debe ser tal que contabilizando el que se ha consumido en la etapa previa, sea como mínimo el que corresponda al nitrógeno presente, cuando ambos componentes formaban parte del aire, aunque evidentemente puede ser mayor pues, mientras que no es razonable utilizar un aire empobrecido de oxígeno, sí que es razonable utilizar aire enriquecido en oxígeno. Tampoco tendría sentido que la corriente gas que alimenta a la columna de absorción-oxidación, no llevase al menos el oxígeno necesario para que todos los óxidos puedan transformarse en ácido.

En el diseño de la simulación, se ha tenido en cuenta de forma fundamental el desarrollo conceptual del proceso más que su aplicación como herramienta de cálculo, aunque se pueda utilizar como tal. En este sentido, se pretende establecer un estudio de la influencia que tienen las diversas variables sobre los resultados obtenidos.

Aunque, como se ha indicado anteriormente, en cada uno de los apartados existe una pantalla inicial con información previa, ésta es sólo a modo de recordatorio y se considera que el alumno posee un conocimiento teórico del proceso considerado.

La simulación tiene muchas posibilidades de ser utilizada como herramienta de estudio, así, además de ver la influencia de las diferentes variables que intervienen en el proceso, el alumno puede comprobar un determinado caso, rehaciendo los resultados obtenidos en pantalla, o puede comprobar que la composición de una corriente que alimenta a una etapa secundaria es de composición razonable, en el sentido de que pudo originarse en una etapa anterior, e incluso determinar en qué condiciones pudo haberse originado, o también comprobar que la composición de la fase gaseosa cumple las condiciones limitantes de saturación impuestas por la presión y temperatura de operación, así como que también se cumplen las constantes de equilibrio en el caso de que estas puedan tener lugar, etc. (3,4).

### **3. MODO DE OPERACIÓN**

A modo de ejemplo, se van a mostrar algunos resultados obtenidos con la simulación. Para ello se ha elegido la etapa inicial del proceso, la correspondiente al convertidor de amoníaco.

**CONVERTIDOR DE AMONIACO** (Información previa.)

$\text{NH}_3 + 5/4 \text{O}_2 \longrightarrow \text{NO} + 3/2 \text{H}_2\text{O} \quad 54120 \text{ cal/molg.}$

Límites mezclas explosivas.

Presión (ata.)	% NH <sub>3</sub> vol (aire)	O <sub>2</sub> /NH <sub>3</sub> (moles)
1	13.5	1.35
5	12.0	1.54
7	11.5	1.62
10	10.8	1.73

$K_p = P^2 \text{NO}_2 / P^2 \text{NO} \cdot P \text{O}_2$

t°C	K <sub>p</sub>
38	1 × 10 <sup>11</sup>
200	1 × 10 <sup>5</sup>
400	1 × 10 <sup>1</sup>
600	1 × 10 <sup>-1</sup>
800	1.7 × 10 <sup>-3</sup>
1000	1.2 × 10 <sup>-3</sup>

$r = dP_{\text{NO}_2} / dt = k_1 \cdot P^2 \text{NO} \cdot P \text{O}_2$

$\text{Lg } k_1 = 641/T - 0.725$

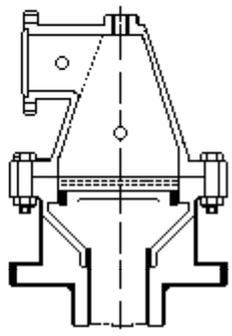
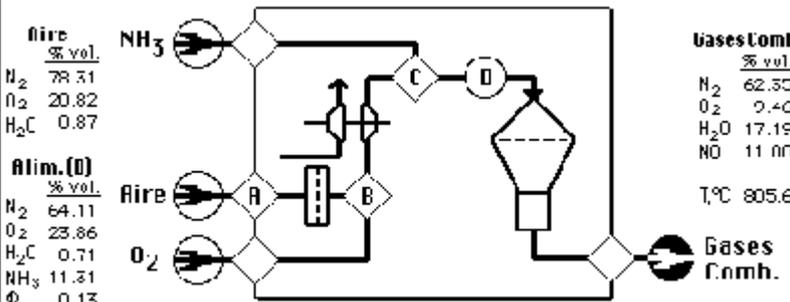






Figura 2. Ventana inicial: información previa.



Aire		NH <sub>3</sub>	
% vol.		% vol.	
N <sub>2</sub>	78.31		
O <sub>2</sub>	20.82		
H <sub>2</sub> O	0.87		

Alim. (D)		Aire		O <sub>2</sub>	
% vol.		% vol.		% vol.	
N <sub>2</sub>	64.11				
O <sub>2</sub>	23.86				
H <sub>2</sub> O	0.71				
NH <sub>3</sub>	11.31				
φ	0.13				

Gases Comb.	
% vol.	
N <sub>2</sub>	62.35
O <sub>2</sub>	9.46
H <sub>2</sub> O	17.19
NO	11.00

T, °C 805.6

Gases Comb.

**A** Parámetros del aire atmosférico.

P, mmHg  751

T, °C  25.0

φ  0.26

**B** Relación Aire/Oxígeno (moles)

2.0

**C** Relación Oxígeno/NH<sub>3</sub> (moles)

2.11

**D** Valores de P y T en la alimentación

P, mmHg  811

T, °C  56.2

Figura 3. Ventana interactiva: datos y resultados.

La primera ventana, ventana informativa, recoge información previa recordatorio correspondiente a esta etapa.

La segunda ventana, es donde se fijan los valores de las variables que definen esta etapa del proceso, al mismo tiempo que se obtiene de forma interactiva los resultados correspondientes a los valores fijados.

La tercera ventana recoge el balance de materia y energía correspondiente a la etapa considerada de acuerdo con los valores fijados.

CONVERTIDOR DE AMONÍACO. (Base de cálculo: 1 mol de amoníaco)											
Aire atmosférico			Alimentación reactor			Gases de combustión					
T, °C	26.0	4	T, °C	36.2	4	T, °C	805.5				
P, mmHg	751		P, mmHg	811		P, mmHg	5795				
	moles	% vol	masa, g		moles	% vol	masa, g		moles	% vol	masa, g
N <sub>2</sub>	5.67	78.31	158.72	N <sub>2</sub>	5.67	64.11	158.72	N <sub>2</sub>	5.67	62.35	158.72
O <sub>2</sub>	1.51	20.82	48.22	O <sub>2</sub>	2.11	23.86	67.52	O <sub>2</sub>	0.96	9.46	27.52
H <sub>2</sub> O	0.06	0.07	1.14	H <sub>2</sub> O	0.05	0.71	1.14	H <sub>2</sub> O	1.56	17.15	20.14
Total Aire			208.00	NH <sub>3</sub>	1.00	11.41	17.00	N <sub>2</sub>	1.00	11.00	30.00
<b>Oxígeno puro</b>											
	moles		masa, g								
	0.60		19.30								
<b>Amoníaco</b>											
	moles		masa, g								
	1.00		17.00								
			Total				Total				Total
			244.37				244.37				244.37
Air./O <sub>2</sub> , moles	2.00			C <sub>pe</sub>		C <sub>ps</sub>		Q <sub>e</sub> , cal		701.3	
O <sub>2</sub> /NH <sub>3</sub> , moles	2.11			N <sub>2</sub>	6.877	7.777		Q <sub>r</sub> , cal		54060.0	
				O <sub>2</sub>	6.936	7.770		Q <sub>p</sub> , cal		54761.0	
				H <sub>2</sub> O	7.912	8.577					
				NH <sub>3</sub>	0.475						
				NO		7.643					

Figura 4. Ventana de los balance de materia y energía.

## REFERENCIAS

1. A. Fernández Tena, *Resúmenes de Tesis Doctorales*, Ediciones Universidad de Salamanca (1977).
2. A. Fernández Tena y J.R. Álvarez González, *An. Quím.*, **1980**, Vol. 76, 142.
3. A. Fernández Tena, R. Ardanuy Albajar y M. Prieto García, *Cuadernos de Bioestadística y sus Aplicaciones*, **1992**, Vol. 10 (1), 81.
4. A. Fernández Tena y M. Prieto García, *CalPpsico*, Ed. I.U.C.E., Salamanca (1991).

# INTRODUCCIÓN A LA GEOMETRÍA MOLECULAR UTILIZANDO PLASTILINA Y PALILLOS

*David Tudela*

Departamento de Química Inorgánica, Universidad Autónoma de Madrid  
28049-Madrid, david.tudela@uam.es

*La realización de una práctica sobre el uso de plastilina y palillos para introducir el concepto de Estructura Molecular y el modelo VSEPR, mejora la visión espacial de los estudiantes y su comprensión de la geometría molecular, así como sus resultados académicos. Mientras que la construcción de modelos moleculares por parte de los estudiantes, utilizando plastilina y palillos, ayuda a mejorar sus habilidades de percepción espacial, la analogía de los palillos pinchados en la plastilina como modelos de los dominios de electrones alrededor de un átomo central, permite una mejor comprensión del modelo VSEPR.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Aunque se espera que los estudiantes de Química adquieran una comprensión profunda de la geometría molecular en su primer año de estudios universitarios, una gran parte de ellos presenta serias deficiencias que afectan negativamente a la comprensión de diversas asignaturas. Uno de los puntos más débiles de los alumnos es el relacionado con las habilidades de percepción espacial. Es decir, los alumnos memorizan estructuras y las dibujan en un plano sin ser capaces de visualizarlas en tres dimensiones. Existe bastante preocupación en todo el mundo respecto a las habilidades de percepción espacial, habiéndose publicado diversos artículos en la revista *Journal of Chemical Education* (1-5). Es interesante señalar que, en ausencia de un entrenamiento específico con modelos estructurales, las chicas tienen más dificultades de visión espacial que los chicos (2, 3), mientras que, después de dicho entrenamiento, ambos grupos mejoran y disminuyen las diferencias entre ellos (3). Las dificultades de visualización tridimensional de los estudiantes conducen a errores conceptuales sobre la geometría y polaridad de las moléculas (5, 6). Por tanto, el trabajo con modelos estructurales es de la máxima importancia. Pero no basta con ver los modelos, sino que el mayor aprovechamiento posible se consigue si el estudiante construye el modelo y lo manipula él mismo (7).

Las estructuras de Lewis, con las correspondientes estructuras resonantes en su caso, nos indican el número de enlaces (incluyendo su orden de enlace) y de pares solitarios alrededor de un átomo central. La distribución de dichos enlaces y pares solitarios en el espacio conduce a la estructura molecular. El modelo más sencillo para predecir y racionalizar la geometría de las moléculas es el de la “*Repulsión de los Pares Electrónicos de la Capa de Valencia*” (VSEPR) (8) que, en su forma más

simple, establece que los dominios de electrones (enlaces, sea cual sea su orden de enlace, y pares solitarios) se distribuyen alrededor del átomo central de forma que se minimicen las repulsiones entre ellos; es decir, estén lo más alejados posible entre sí. De esta manera, para los diferentes números de enlaces y pares solitarios, se llega a las geometrías indicadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Estructura de las moléculas en función del número de dominio de electrones (enlaces y pares solitarios).

D.E. <sup>a</sup>	ENLACES	P.S. <sup>b</sup>	ESTRUCTURA	ÁNGULOS	EJEMPLO
2	2	0	LINEAL	180°	BeH <sub>2</sub>
3	3	0	TRIGONAL PLANA	120°	BF <sub>3</sub>
3	2	1	ANGULAR	< 120°	SnCl <sub>2</sub>
4	4	0	TETRAÉDRICA	109.5°	CH <sub>4</sub>
4	3	1	PIRÁMIDE TRIGONAL	< 109.5°	NH <sub>3</sub>
4	2	2	ANGULAR	< 109.5°	H <sub>2</sub> O
5	5	0	BIPIRÁMIDE TRIGONAL	90°, 120° y 180°	PF <sub>5</sub>
5	4	1	BIASFENOIDE	< 90°, < 120° y < 180°	SF <sub>4</sub>
5	3	2	ESTRUCTURA EN "T" DEFORMADA	< 90° y < 180°	ClF <sub>3</sub>
5	2	3	LINEAL	180°	XeF <sub>2</sub>
6	6	0	OCTAÉDRICA	90° y 180°	SF <sub>6</sub>
6	5	1	PIRÁMIDE DE BASE CUADRADA	< 90° y < 180°	BrF <sub>5</sub>
6	4	2	PLANOCUADRADA	90° y 180°	XeF <sub>4</sub>

<sup>a</sup>Dominios de electrones. <sup>b</sup>Pares solitarios.

La forma tradicional de enseñar los principios de Estructura Molecular (modelo VSEPR) parte de la Tabla 1, que los estudiantes memorizan sin una adecuada comprensión de la misma. Además, muchos estudiantes tienen dificultades de percepción espacial, son incapaces de crear imágenes tridimensionales de lo que tienen dibujado en un papel, y no relacionan los dibujos de las moléculas en un plano con su estructura tridimensional. Al ser preguntados sobre si la primera imagen que aparece en su mente al mencionarles una molécula determinada es la visión de su estructura o el texto que la describe, muchos estudiantes reconocen que es el texto que previamente han memorizado. Esta memorización, carente de comprensión, conduce a diversas incongruencias como que dibujen una molécula A-B-A lineal acompañada de

un texto que indica que es angular, o incluso que digan que es angular con un ángulo de  $180^\circ$ .

Aunque se han propuesto diversas analogías para ayudar a visualizar el modelo VSEPR (9), un método muy adecuado para mejorar las habilidades de visión espacial de los estudiantes y su comprensión de la estructura molecular es el uso de modelos construidos por ellos mismos con plastilina y palillos (10). A la conocida mejora de las habilidades espaciales tras los entrenamientos con modelos, se añade una mejora adicional pues los estudiantes no sólo manipulan modelos estructurales sino que los construyen ellos mismos. Se avanzan así pasos en el camino: Estructura dibujada en papel → Visión de modelos tridimensionales → Manipulación de los modelos → Construcción de los modelos. La combinación de este procedimiento con la visualización de vídeos o modelos estructurales en la pantalla de un ordenador, permite a los estudiantes relacionar las estructuras que dibujan en papel con las imágenes que ven en pantalla y con los modelos tridimensionales que tienen en sus manos, adquiriendo las competencias básicas de percepción espacial imprescindibles para el estudio de la Química. En la experiencia que se describe a continuación, los estudiantes van insertando palillos (la analogía de dominios de electrones) en una bola de plastilina (átomo central), buscando la posición de máxima distancia (mínima repulsión) entre los mismos. De esta manera, los estudiantes deducen las geometrías correspondientes a diferentes números de enlaces y pares solitarios, y rellenan ellos mismos una tabla en blanco hasta obtener los datos de la Tabla 1, construyendo su propio conocimiento de estructura molecular. El objetivo de esta experiencia es mejorar la visión espacial y los conocimientos de estructura molecular (aplicación del modelo VSEPR) de los estudiantes.

## 2. PROCEDIMIENTO

Comenzando con un palillo insertado en una bola de plastilina, se pide a los estudiantes que inserten un segundo palillo, lo más alejado posible del primero, con lo que resulta una disposición lineal, con un ángulo de  $180^\circ$ , que los estudiantes apuntan en su tabla en blanco. A continuación, se pide a los estudiantes que inserten un tercer palillo, lo más alejado posible de los otros dos (lo colocan perpendicular a ellos), y relajen los ángulos de forma que los tres palillos se alejen lo más posible entre sí. El resultado es una estructura triangular plana con ángulos de  $120^\circ$ . En el caso de algunos estudiantes, con conocimientos muy pobres de geometría, puede ser necesario preguntarles cuántos grados corresponden a una circunferencia completa ( $360^\circ$ ) y cuántos corresponden a cada uno de los tres fragmentos en que se divide en el triángulo equilátero, para que deduzcan que el ángulo es de  $120^\circ$ .

Partiendo de los tres palillos, con disposición trigonal plana, se pide a los estudiantes que retiren uno de ellos para modelizar el caso en que uno de los tres dominios de electrones no es un enlace sino un par solitario (se puede deformar la plastilina para señalar la posición del par solitario donde anteriormente había un

palillo). El resultado es una disposición angular de los dos enlaces, con un ángulo de enlace próximo a  $120^\circ$  (el que corresponde a tres dominios de electrones). Una aplicación más detallada del modelo VSEPR (mayor repulsión del par solitario que de los enlaces, en el caso de enlaces sencillos) lleva a la conclusión de que, generalmente, el ángulo se cerrará alcanzando valores menores de  $120^\circ$  (una excepción es  $\text{NO}_2$  en que los dos enlaces son de orden 1.5 y en vez de un par solitario hay un electrón solitario, que causa menos repulsión, por lo que el ángulo se abre hasta un valor de  $134,3^\circ$ ).

Volviendo a la situación de tres palillos insertados con una disposición trigonal plana, se pide a los estudiantes que inserten un cuarto palillo en la posición más alejada de los otros tres (perpendicularmente al plano) y relajen los ángulos de forma que todos los palillos estén lo más alejados posible entre sí. El resultado es una disposición tetraédrica con ángulos de  $109,5^\circ$ . En el caso de que uno de los cuatro dominios de electrones sea un par solitario, se retira uno de los palillos (y se deforma ligeramente la plastilina en la dirección del par solitario), resultando una estructura de pirámide trigonal, con ángulos de enlace próximos a los  $109,5^\circ$  que corresponden a los cuatro dominios de electrones. Una aplicación más detallada del modelo VSEPR lleva a la conclusión de que generalmente el ángulo se cerrará alcanzando valores menores de  $109,5^\circ$  (una excepción es  $\text{ClO}_3$  cuya estructura de Lewis que minimiza las cargas formales contiene tres enlaces dobles y un electrón solitario en el átomo de cloro, por lo que el ángulo se abre hasta un valor de  $113,5^\circ$ ).

Partiendo de la situación anterior, pirámide trigonal derivada de un tetraedro en que uno de los dominios de electrones es un par solitario, se retira otro palillo (y se deforma la plastilina en la dirección del nuevo par solitario) para modelizar la situación correspondiente a dos enlaces y dos pares solitarios. El resultado es una disposición angular con ángulos próximos a  $109,5^\circ$  (correspondientes a cuatro dominios de electrones) que generalmente se cerrarán siendo menores de  $109,5^\circ$  (una excepción es  $\text{ClO}_2$  cuya estructura de Lewis que minimiza las cargas formales contiene dos enlaces dobles, un par solitario y un electrón solitario en el átomo de cloro, por lo que el ángulo se abre hasta un valor de  $117,6^\circ$ ). Al pasar los resultados a su tabla, es importante que los estudiantes noten la diferencia entre una estructura angular resultante de tres dominios de electrones (dos enlaces y un par solitario) con ángulo próximo a  $120^\circ$ , y una resultante de cuatro dominios de electrones (dos enlaces y dos pares solitarios) con ángulos próximos a  $109,5^\circ$ .

Volviendo a la situación de cuatro palillos insertados con una disposición tetraédrica, se pide a los estudiantes que inserten un quinto palillo en la posición más alejada posible de los demás. Tras probar diferentes posibilidades, los estudiantes comprueban que dicha posición es en la dirección opuesta a uno de los palillos y perpendicular a la cara del tetraedro que definen los otros tres palillos. En este momento, hay tres palillos más próximos al palillo entrante que al otro. Al relajar los ángulos, para que todos los palillos estén lo más alejados posible entre sí, resulta una estructura de bipirámide trigonal. Puesto que las estructuras que derivan de una

bipirámide trigonal son las más difíciles de visualizar por parte de los estudiantes, es importante que se tomen el tiempo necesario para comprobar que en una bipirámide trigonal hay dos tipos de posiciones (axiales y ecuatoriales) y que los diferentes ángulos de enlace son de  $90^\circ$  (axial-ecuatorial),  $120^\circ$  (ecuatorial-ecuatorial) y  $180^\circ$  (axial-axial). Es también muy importante notar que el menor ángulo de enlace (máxima repulsión entre los correspondientes dominios de electrones) es de  $90^\circ$  y que las posiciones axiales tienen tres dominios de electrones a  $90^\circ$ , mientras que las posiciones ecuatoriales solo tienen dos dominios de electrones a  $90^\circ$ . Por tanto, las posiciones axiales sufren una mayor repulsión y los dominios de electrones que ejerzan una mayor repulsión (pares solitarios y enlaces múltiples) ocuparán las posiciones ecuatoriales.

Para modelizar una estructura en que el átomo central tenga cuatro enlaces y un par solitario, se parte de la bipirámide trigonal (correspondiente a cinco dominios de electrones) y se quita un palillo de una posición ecuatorial (y se deforma la plastilina en la dirección del par solitario), resultando una estructura semejante a un bifenóide con ángulos de enlace próximos a los correspondientes a una bipirámide trigonal ( $90^\circ$ ,  $120^\circ$  y  $180^\circ$ ), pero generalmente menores por la repulsión del par solitario. Al quitar un nuevo palillo de las posiciones ecuatoriales (y deformar la plastilina en la dirección del nuevo par solitario), para modelizar la estructura correspondiente a tres enlaces y dos pares solitarios, los estudiantes suelen preguntar el nombre de la nueva estructura. Al decirles que tomen la estructura por el palillo de la posición ecuatorial, con los palillos axiales hacia arriba y paralelos al suelo, e indiquen a qué letra se parece esa estructura, los estudiantes reconocen la letra “T”, por lo que la estructura recibe el nombre de “T deformada”. La deformación proviene de la repulsión de los pares solitarios que cierra los ángulos a valores  $< 90^\circ$  (axial-ecuatorial) y  $< 180^\circ$  (axial-axial). Si algún alumno pregunta por qué este último ángulo es  $< 180^\circ$  y no  $> 180^\circ$ , se le dibuja un ángulo de  $90^\circ$  y se le pregunta su valor; a su respuesta de  $90^\circ$  se le vuelve a preguntar “¿y por qué no de  $270^\circ$ ?”, con lo que su pregunta anterior quedará contestada.

Para modelizar la estructura correspondiente a dos enlaces y tres pares solitarios, se parte de la estructura en “T”, preferentemente no deformada (ángulos de  $90^\circ$  y  $180^\circ$ ), y se quita el palillo que queda en la posición ecuatorial (deformando la plastilina en la dirección del nuevo par solitario), resultando una estructura lineal con un ángulo de exactamente  $180^\circ$ . Algunos estudiantes se preguntan si la repulsión de los pares solitarios no distorsionará la estructura lineal, pero es fácil hacerles comprender que cada uno de los pares solitarios tenderá a desviar los enlaces a la dirección contraria, pero que al ejercer los tres pares solitarios exactamente la misma repulsión, sus fuerzas se anulan, no existiendo ninguna distorsión de la estructura lineal.

Volviendo a la situación de cinco palillos insertados con una disposición de bipirámide trigonal, se pide a los estudiantes que inserten un sexto palillo en la posición más alejada posible de los demás. Tras probar diferentes posibilidades, los

estudiantes comprueban que dicha posición es en la dirección opuesta a uno de los enlaces ecuatoriales, bisecando el ángulo de  $120^\circ$  de los otros dos. En este momento, hay dos palillos (ecuatoriales) más próximos al palillo entrante que al que forma una recta con él. Al relajar los ángulos, para que todos los palillos se alejen lo más posible entre sí, resulta una estructura octaédrica con ángulos de  $90^\circ$  y  $180^\circ$ . Al quitar un palillo al octaedro, para modelizar la estructura correspondiente a cinco enlaces y un par solitario (deformando la plastilina en la dirección del par solitario), los estudiantes ven claramente la forma de pirámide de base cuadrada, siempre que la miren con el par solitario hacia abajo (en caso contrario parecería un paraguas). La deformación producida por el par solitario conduce a ángulos inferiores a  $90^\circ$  y  $180^\circ$ . Mientras que el primer par solitario podía colocarse en cualquier vértice del octaedro (puesto que todos los vértices son idénticos), un segundo par solitario debe colocarse en la posición opuesta al primero para minimizar las repulsiones, por lo que al quitar el correspondiente palillo (y deformar la plastilina en la dirección del nuevo par solitario), para modelizar la estructura correspondiente a cuatro enlaces y dos pares solitarios, resulta una estructura planocuadrada con ángulos de exactamente  $90^\circ$  y  $180^\circ$  (los dos pares solitarios ejercen exactamente la misma repulsión en sentidos opuestos, por lo que sus efectos se anulan).

Una vez que los estudiantes han sido capaces de reproducir la Tabla 1, rellenando su tabla en blanco, trabajando en pequeños grupos e interaccionando con los profesores, es aconsejable que se lleven la plastilina y los palillos a su casa y allí repitan el proceso trabajando en solitario. Es también muy importante que manipulen todas las estructuras y relacionen el dibujo bidimensional de la estructura en el papel, pizarra o transparencia con el modelo tridimensional que ellos mismos han creado. Cuando los estudiantes comprenden la utilidad de los modelos moleculares contruidos con plastilina y palillos, es frecuente que los sigan utilizando en su casa para construir modelos de moléculas sencillas de las que estudian en diferentes asignaturas. Con plastilina de diferentes colores pueden estudiar la quiralidad de moléculas tetraédricas viendo cuales son superponibles con su imagen especular. Una gran ventaja del uso de plastilina y palillos, respecto a modelos comerciales, es (además de su precio) que los ángulos se pueden modificar para modelizar procesos dinámicos como la transformación entre una estructura tetraédrica y una plano cuadrada, la inversión de amoniaco o aminas, el mecanismo de sustitución  $S_N2$  en centros tetraédricos, o el mecanismo de pseudo-rotación de Berry para el intercambio entre posiciones axiales y ecuatoriales en estructuras de bipirámide trigonal.

### 3. COMENTARIOS

La experiencia descrita se ha llevado a cabo, durante tres cursos académicos, con grupos de estudiantes voluntarios, fuera del horario de clase habitual, en la asignatura “Enlace Químico y Estructura” de primer curso de la Licenciatura de Química de la Universidad Autónoma de Madrid. Los alumnos que participaron en la

experiencia mostraron un excelente interés y participación, resultando un ambiente de trabajo extraordinario. Los alumnos manifestaron su satisfacción por el aprendizaje conseguido durante el desarrollo de la experiencia y la mejora en el aprendizaje se manifestó cuantitativamente en los exámenes correspondientes. Al tratarse de una experiencia voluntaria, no es sorprendente que los alumnos que asistieron a la misma sean los más motivados y que esta motivación se refleje en unos mejores resultados académicos. Por consiguiente, la obtención de mejores calificaciones promedio por parte de los estudiantes que participaron en la experiencia, respecto a los que no lo hicieron (grupo de control), no demuestra necesariamente el efecto beneficioso de la misma. Sin embargo, al dividir la calificación obtenida en las preguntas de contenido estructural entre la obtenida en el resto de preguntas del examen, se elimina el efecto de la motivación intrínseca de los estudiantes y se pone de manifiesto una mejora evidente en el aprendizaje de los alumnos que realizaron la experiencia. Por tanto, se puede concluir que la realización de una práctica sobre el uso de plastilina y palillos para introducir el concepto de Estructura Molecular y el modelo VSEPR, mejora la visión espacial de los estudiantes y su comprensión de la geometría molecular, así como sus resultados académicos. Algunos consejos adicionales se incluyen a continuación.

La práctica se puede realizar en el propio aula durante la hora de clase. Para aprovechar el tiempo al máximo, es conveniente llevar preparadas bolas de plastilina con seis palillos pinchados para todos los estudiantes. En el caso de grupos numerosos, es también conveniente que asista más de un profesor para atender las consultas de los estudiantes de forma personalizada.

Aunque cada estudiante debe tener su propio material, es conveniente que trabajen en grupos de 2 ó 3 personas (lo suelen hacer espontáneamente) para aprovechar las ventajas del aprendizaje cooperativo.

La práctica resulta económica (menos de 0,1 € por estudiante): con un bloque de plastilina se pueden cortar fragmentos a unos 20 estudiantes y con una caja de 1000 palillos hay para más de 150. A esto habría que añadir las fotocopias con la tabla en blanco que deben rellenar los estudiantes. Se debe permitir que los estudiantes se lleven el material utilizado a su casa para que puedan continuar practicando y creando modelos estructurales de diferentes moléculas.

Aunque la práctica completa debe realizarse durante el primer año de estudios universitarios, la introducción de la analogía y la construcción y manipulación de modelos construidos con plastilina y palillos, resultaría muy útil a los alumnos de Bachillerato.

## **AGRADECIMIENTOS**

Parte de este trabajo es el resultado de un Proyecto de Innovación Docente de la Universidad Autónoma de Madrid (2001), titulado *Visión Espacial y Comprensión*

*de la Estructura Molecular en Alumnos de Química*, en el que también participó la Dra. M<sup>a</sup>. José Camazón Carballo.

## REFERENCIAS

1. S.E. McKay y S.R. Boone, *J. Chem. Educ.*, **2001**, Vol. 78, 1487.
2. S.L. Coleman y A.J. Gotch, *J. Chem. Educ.*, **1998**, Vol. 75, 206.
3. H.D. Barke, *J. Chem. Educ.*, **1993**, Vol. 70, 968.
4. H. Tuckey, M. Selvaratnam y J. Bradley, *J. Chem. Educ.*, **1991**, Vol. 68, 460.
5. C. Furió y M.L. Calatayud, *J. Chem. Educ.*, **1996**, Vol. 73, 36.
6. J.P. Birk y M.J. Kurtz, *J. Chem. Educ.*, **1999**, Vol. 76, 124.
7. M.D. Roadruck, *J. Chem. Educ.*, **1993**, Vol. 70, 1025.
8. B.W. Pfennig y R.L. Frock, *J. Chem. Educ.*, **1999**, Vol. 76, 1018.
9. J.P. Birk y S. Abbassian, *J. Chem. Educ.*, **1996**, Vol. 73, 636.
10. D. Tudela, *Educ. Chem.*, **1997**, Vol. 34, 42.

## LA SIMULACIÓN Y/O EL JUEGO DE ROL COMO ESTRATEGIA PARA COMUNICAR CIENCIA: PROYECTO APQUA<sup>1</sup>

*Imma Ros Clavell*

Departament d'Ensenyament Generalitat de Catalunya. iros1@ense.gencat.es

*”La Ciencia la hacen los científicos pero sus consecuencias,  
positivas o negativas, afectan a todas las personas”*

### 1. PROYECTOS C-T-S

Uno de los objetivos fundamentales de los proyectos Ciencia-Tecnología-Sociedad (C-T-S) es que los alumnos aprendan a tomar decisiones. Se pretende despertar en ellos el interés por las cuestiones relacionadas con la actividad humana, adquiriendo nuevos y suficientes conocimientos que les ayuden a analizar las distintas concepciones científicas teniendo en cuenta el contexto cultural e ideológico en el que surgieron y al mismo tiempo tener presente en el currículum, la dimensión ecológica y los valores humanos (políticos, morales, estéticos,...).

La metodología se basa en que debe saber utilizarse la información y, para ello, se da información sobre los contenidos de la materia ligada a un conjunto de experiencias experimentales o virtuales, a unos textos que se correspondan con los contenidos curriculares y realizar distintas secuencias de prácticas de laboratorio o trabajos de recogida de datos.

En este sentido, debe tenerse presente que *“si la información no sabe utilizarse para tomar decisiones, sirve de muy poco. Informar no quiere decir educar”*.

Los productos químicos están relacionados con la mayor parte de las preocupaciones actuales sobre el medio ambiente. Al respecto, hay que considerar que:

- El riesgo es la principal causa de preocupación de la sociedad
- El riesgo cero no es posible
- Vivimos en un mundo que quiere seguridad

## 2. ¿QUÉ ES APQUA?

APQUA es el acrónimo de *Aprendizaje de Productos Químicos, sus Usos y Aplicaciones*. Se trata de un proyecto de culturización científica dirigido a toda la población, centrado en los productos y los procesos químicos y en el riesgo que su uso representa para las personas y para el medio ambiente.

Los objetivos principales de APQUA son:

- Desarrollar una mayor conciencia, un conocimiento y una comprensión pública mayor de los productos químicos y de cómo éstos interactúan con nuestras vidas. Promover el uso de principios y procesos científicos, y de la evidencia en la toma de decisiones.

- Suministrar a las personas los conocimientos y las herramientas necesarios para que puedan tomar sus propias decisiones y participar de manera más efectiva como miembros de una sociedad libre y democrática.

- Conseguir que las personas aprendan a obtener información sobre todo aquello que les preocupa en relación con la Ciencia que les rodea.

APQUA es el resultado de la colaboración entre el Departamento de Ingeniería Química de la URV (Universidad Rovira i Virgili) y el programa SEPUP (*Science Education for Public Understanding Program*) del *Lawrence Hall of Science* de la Universidad de California en Berkeley.

APQUA desarrolla distintos programas:

- Programa escolar dirigido a alumnos de la Educación Obligatoria (10 a 16 años).
- Programa público dirigido a la población adulta.
- Programa de formación de profesionales.
- Centro de información química.

Nos centraremos en reseñar las características principales que caracterizan el primero de ellos.

El programa escolar pretende que los alumnos cuestionen sus ideas sobre los productos químicos y el medio que los rodea en los usos o aplicaciones que nuestra sociedad les da.

Es un proyecto educativo que cree que estar bien informado es necesario para poder tomar decisiones y participar de forma responsable en la formulación de cualquier política relacionada con la Ciencia y la Tecnología.

APQUA cree que el aprendizaje de las ciencias en el aula no significa sólo leer un libro sino realizar actividades, preguntas, discusiones e involucrarse en debates y para ello utiliza la simulación de una historia en la que se plantea una situación problemática, en la que la Ciencia muestra la evidencia del problema pero en la que las tomas de decisiones para paliarlo por parte de la sociedad pueden ser distintas.

Las actividades de trabajo plantean preguntas abiertas y situaciones simuladas. El alumno se da cuenta que los temas de Ciencia y Tecnología son cuestiones sobre las cuales las personas toman decisiones, como individuos miembros de una sociedad.

Los distintos créditos que actualmente forman el programa escolar son:

- *Primer bloque*

Investigan lo que entienden los alumnos/as por el término producto químico para posteriormente tratar dos situaciones diferentes de contaminación de agua (superficial por ácidos y acuíferos por pesticidas). Incluye los epígrafes:

- Los productos químicos.
- Disoluciones y contaminación.
- Contaminación del agua subterránea del pueblo de Valfrondoso.

- *Segundo bloque*

Plantea inicialmente el concepto de riesgo, a partir de situaciones de la vida cotidiana, sobre la posible toxicidad de un aditivo alimentario, tratamiento de residuos de metales pesados en solución producidos por una empresa, así como deben tratarse los distintos residuos que genera la sociedad. Consta de los apartados:

- Riesgo: el juego de la vida.
- Toxicología. Determinación de valores umbral.
- Tratamiento de residuos especiales.
- La jerarquía de la gestión de residuos.

### **3. MÓDULO DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS ESPECIALES**

A título de ejemplo, desarrollaremos la concreción del módulo de Tratamiento de residuos especiales (segundo ciclo de E.S.O.) como crédito variable (30 h).

La filosofía del crédito será la del “método del caso”, a través del cual se estudiarán las distintas alternativas entre las que los alumnos deberán decidir para afrontar un problema ecológico.

Para ello, deberán estudiar el proceso tecno-científico y no el proceso cerrado que presenta los resultados como si fuesen naturales (lineales, lógicos, objetivos y evidentes).

Los alumnos deberán entender y comprender las interpelaciones entre Ciencia-Tecnología-Sociedad y la educación en valores.

Así mismo, deberán desarrollar su sentido de responsabilidad paralelamente a su formación como ciudadanos, para que sean capaces de comprender fenómenos complejos, reflexionar y elaborar juicios de valor propios, formularse preguntas que representen un papel decisivo en la sociedad y que representen una repercusión importante sobre los derechos fundamentales y las libertades individuales, al mismo tiempo que los estimule para aprender a tomar decisiones y participar activamente en la vida social.

Introduciremos el tema planteando nuestras dudas sobre cómo la sociedad toma decisiones y para ello plantearemos el “caso” como aquél en que alumnos asumen el papel de ingenieros de una consultoría medioambiental a los que se les plantea la necesidad de decidir cuál es la mejor manera de tratar una solución residual que contiene cobre, generada por el cierre de una empresa de galvanotecnia.

Comparan los métodos de disolución, sustitución, precipitación e inertización, teniendo en cuenta no solo su efectividad sino también el coste y el impacto ambiental.

Durante la realización de las siete actividades de que consta el crédito, los alumnos:

1. Utilizan la solución de cloruro de cobre (II) para recubrir un clip de níquel y se les plantea el problema del tratamiento de la solución usada que contiene un metal tóxico.
2. Determinan el volumen de agua necesario para disolver una cantidad determinada de la solución residual de cloruro de cobre (II), teniendo en cuenta la normativa sobre aguas de una hipotética localidad. Realizan un ensayo para determinar la presencia de iones de cobre en solución.
3. Investigan el uso de aluminio como método para recuperar el cobre. Realizan una reacción de sustitución.
4. Investigan si otros metales (hierro, zinc, etc.) recuperarán el cobre tal como lo ha hecho el aluminio y determinen cuál de ellos es el más efectivo considerando el coste económico y la toxicidad de cada uno de ellos para decidir cual es el más adecuado.
5. Observan y separan el precipitado sólido que se produce al mezclar la solución residual de cloruro de cobre (II) con otras. Determinan cuál de las reacciones de precipitación es más efectiva para eliminar los iones cobre. Posteriormente, simulan los efectos de la “lluvia ácida” sobre los precipitados depositados en un vertedero imaginario.
6. Realizan la inertización de los iones cobre con cemento Portland y silicato de sodio. Investiguen el grado de lixiviación de los iones de cobre provocados para una lluvia ácida imaginaria.
7. Comparan, mediante la ayuda de una tabla de doble entrada, las ventajas e inconvenientes de cada método estudiado en relación con la destinación final del residuo, la facilidad de realización del proceso, el coste y las preguntas generales relacionadas con el medio.
8. Toman una decisión.

#### **4. TOMA DE DECISIONES**

Según Méndez (1) La toma de decisiones es una constante en nuestras vidas pero, ¿cómo podemos participar en la toma de decisiones que alguien toma por nosotros?. Cualquiera de las cosas que hacemos no deja de ser un cúmulo de decisiones ya tomadas por alguien. Obviamente suponemos, sabemos, etc. que “alguien” se ha preocupado de comprobar todo aquello que es “comprobable” y que este “alguien” es competente.

A partir de estas premisas podemos preguntar a los alumnos:

- ¿En que nos basamos para tomar decisiones?

- ¿Cómo las legitimamos?
- ¿Es la racionalidad científica la manera más segura tanto para legitimar como para tomar decisiones?
- ¿Es conveniente participar en las decisiones que alguien ha tomado por nosotros? ¿Es posible?
- ¿Por qué y en qué medida nos afecta que existan conflictos y divergencias entre las decisiones que toman los “expertos” respecto a un mismo asunto?
- ¿Qué sucede?, cuando el conflicto aparece entre valores distintos como:
  - Libertad e igualdad.
  - Reducir o aumentar la producción.
  - Producción y contaminación.
  - Expertos o sociedad democrática.
  - Incentivar la producción o el bienestar de los trabajadores.
  - Riesgo percibido y estadístico.

Las respuestas pasan por entender y comprender las relaciones C-T-S. La sociedad crea, modifica e interpreta la tecnología con la intención de satisfacer sus necesidades y mejorar sus condiciones de vida. La actividad científico-tecnológica modifica la sociedad, la vertebrada de forma diferente, cambia sus capacidades expresivas y comunicativas, los valores, las creencias y los deseos de sus componentes.

La Ciencia, en todos los niveles educativos, enseña que la realidad es de una manera y que siempre hay alguien (profesor, científico,...) que la conoce mejor que el alumno.

La Ciencia parece omnipotente: los temas y problemas planteados en los libros de texto y en las prácticas de laboratorio presentan una única solución. Casi nunca se discute por qué se escoge una de las soluciones y no otra de entre todas las posibles.

El proceso de socialización tecno-científica ignora las relaciones C-T-S y esto se traduce en una formación realizada en compartimentos estancos de manera que no permite tener una visión global, ni consolidar una preparación para poder evaluar los contextos, argumentos y consecuencias que tienen que ver con su formación como ciudadanos, como futuros profesionales y como personas que han de saber tomar decisiones.

La tecnología no puede entenderse como un conjunto de herramientas, puesto que esto crea un déficit de cultura tecnológica, ya que no permite comprender cómo la sociedad configura la tecnología al mismo tiempo que la tecnología construye la sociedad.

Para finalizar quisiera recordar unas palabras de J. Wagensberg(2):

*“En Ciencia todo se basa en la conversación. Experimentar y observar es conversar con la naturaleza, inventar y reflexionar es conversar con uno mismo y trabajar en equipo pasa por conversar con compañeros, profesores y alumnos. Por tanto, es necesario saber expresarse, saber escuchar, saber convencer y reconocer*

*los errores y los aciertos, los de uno mismo y los de los otros. Deberemos entrenar a nuestros alumnos en estas habilidades”.*

## **5. EQUIPO DEL PROGRAMA APQUA**

Magda Medir es la directora del programa APQUA “Aprendizaje de los productos químicos sus usos y aplicaciones”, APQUA (1988-2003). Es además asesora científica del programa SEPUP (*Science Education for Public Understanding Program*), del *Lawrence Hall of Science* en la Universidad de California en Berkeley, USA.

Herbert D. Thier es el director y fundador del programa SEPUP.

Los colaboradores científicos del programa APQUA son: Jordi Gavaldà, Francesc Giralt, Jordi Grifoll, Montse Abelló, Enric Antón, Carlos Lozano, Santiago Rodríguez, Ignasi Papell, Natàlia Garriga e Imma Ros.

## **REFERENCIAS**

1. R. Méndez y À. Àlvarez, *Educando en valores a través de C-T-S*, Ed. Desclée De Brouwer (1999).
2. J. Wagenswerg, Director del Museo de la Ciencia de Barcelona, *Comunicación*.

## Parte IV

---

# Química en Acción



## **SOBRE EL ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS EN LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA**

*Jordi Llorca*

Departamento de Química Inorgánica, Universitat de Barcelona  
Martí i Franquès 1-11, 08028-Barcelona. jordi.llorca@qi.ub.es

*Pocas veces en la enseñanza de la Química se explica el origen de los elementos químicos y los procesos mediante los cuales se han distribuido en nuestro entorno, a pesar que estos aspectos son básicos para mostrar la dimensionalidad de la Química. En este trabajo se traza un eje didáctico, con algunos apuntes y reflexiones, de cómo estos temas pueden tratarse en un curso introductorio de Química.*

### **1. INTRODUCCIÓN**

La Química es la Ciencia que estudia la composición, estructura y propiedades de las diversas sustancias, así como sus transformaciones. Bajo esta definición, la enseñanza de la Química suele empezar con el aprendizaje de qué son los átomos y cómo éstos se enlazan para formar moléculas y fases condensadas. A partir del estudio de los átomos y de su constitución, se introduce al estudiante a una de las herramientas básicas de la Química, que es la tabla periódica. Pero, frecuentemente, escapa de esta introducción un aspecto fundamental de la Química, como es la discusión acerca de la distribución de los elementos químicos en nuestro entorno y el origen de los elementos químicos en sí mismo. Desde este punto de vista, no parece conveniente dar por supuesto a los estudiantes que los elementos químicos que tenemos a nuestro abasto son los que son y que siempre han sido éstos, sino que resulta adecuado plantearles preguntas tan elementales y tan importantes a la vez como son: ¿cuántos elementos químicos existen y por qué?, ¿dónde y cuándo se originaron?, ¿cómo se explican las grandes diferencias en la abundancia relativa de ellos, ya que, por ejemplo, sólo unos cuantos -ocho- constituyen más del 99% en peso de la corteza terrestre?. Además de su aspecto fundamental, conocer los principios sobre los que los elementos químicos se han distribuido en nuestro entorno a lo largo de la historia de nuestro planeta tiene importantes repercusiones en cuanto al estudio de la obtención de los elementos químicos se refiere, así como a aspectos económicos y de disponibilidad.

A continuación se propone un eje didáctico que pretende servir de guía en la articulación de todos estos aspectos en un curso introductorio de Química. El tema se organiza en cuatro partes distintas. La primera parte está dedicada al estudio y análisis de la distribución de los elementos y hace especial énfasis en las grandes diferencias existentes en distintos enclaves con respecto a los valores medios del universo. La segunda parte se centra propiamente en el origen de los elementos así como en su

estabilidad relativa. La tercera parte trata de la evolución química de los elementos. La cuarta parte está dedicada al estudio de la distribución de los elementos químicos en nuestro entorno inmediato. Finalmente se incluye una lista bibliográfica, esencialmente artículos en revistas educativas de Química de fácil acceso como el *Journal of Chemical Education* o *Education in Chemistry*.

## 2. ABUNDANCIA DE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS

En la Tierra se encuentran 90 elementos químicos distintos, 81 de los cuales (de H a Bi, excluyendo Tc y Pm) son estables, mientras que los 9 elementos restantes (Po a U) existen como isótopos radioactivos inestables. La distribución de los elementos químicos en la Tierra es muy irregular; existe un factor superior a  $10^{10}$  entre la concentración del elemento más raro y el más abundante. Ahora bien, ¿es la composición elemental de la Tierra representativa de las abundancias de los distintos elementos químicos en conjunto, es decir, en el universo?. Lamentablemente, desde el punto de vista que la Tierra es, obviamente, el objeto del universo más fácil de estudiar, la respuesta es no.

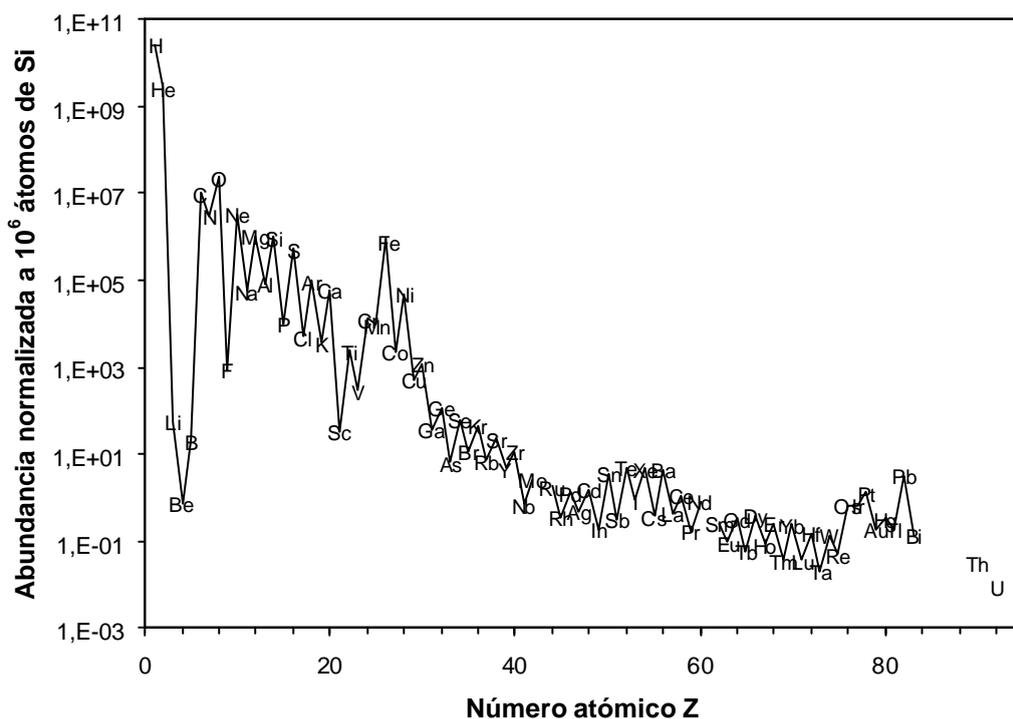


Figura 1. Abundancia relativa de los elementos químicos en el Sol.

Si en lugar de analizar objetos individuales, como la Tierra, se trata al sistema solar en su conjunto, se tiene que el Sol constituye más del 99 % de la masa total del mismo. De este modo, la estimación de la abundancia de los elementos químicos en el sistema solar se resume en determinar la distribución de los elementos en el Sol, la cual está en concordancia con los valores medios del universo. En la figura 1 se muestra la abundancia relativa de los elementos químicos en el Sol, obtenida a partir de datos espectroscópicos. Destacan algunos hechos que deben ser debidamente justificados: a) el hidrógeno es el elemento más abundante, representa el 93% del número total de átomos; b) el helio es el segundo elemento más abundante, representando casi el 7% del número total de átomos (en el espectro de emisión de las protuberancias solares observado después del eclipse del 18 de agosto de 1868 aparecía una raya que no podía atribuirse a ningún cuerpo simple conocido, el nuevo elemento fue designado con el nombre de Helio por Frankland y Lockyer precisamente en honor a *Helios*, divinidad solar); c) todos los otros elementos químicos juntos representan menos del 1% de los átomos; d) el hierro es relativamente muy abundante; e) litio, berilio y boro son particularmente poco abundantes; f) los elementos cuyos núcleos tienen números mágicos múltiplos de 4 son más abundantes que sus vecinos inmediatos; g) los elementos con número atómico par son más abundantes que aquellos con número atómico impar.

### 3. ORIGEN DE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS

Para justificar las abundancias relativas de los elementos químicos en el Sol (equivalente en primera aproximación a la de la totalidad del universo en su conjunto) hace falta saber cómo se han originado. Existen tres tipos de procesos, muy distintos entre sí, responsables de la formación de los elementos. Uno de ellos tuvo lugar durante el *big bang*, mientras que los otros dos han tenido lugar -y siguen teniéndolo en la actualidad- en las estrellas y en el medio interestelar.

#### 3.1. Síntesis de elementos químicos en el *big bang*: H y He

El origen del universo se remonta a la explosión del *big bang*, que se cree que tuvo lugar hace unos  $15 \times 10^9$  años. Bajo las condiciones iniciales del *big bang*, el universo consistía únicamente en partículas elementales. La expansión de este material en el espacio provocó el descenso de la temperatura hasta el punto que fue posible la existencia de hidrógeno, deuterio y helio. Los neutrones en exceso dieron lugar a protones, lo que explica la gran abundancia de hidrógeno que se observa hoy en día en el universo.

En unos tres minutos, el universo se expandió y enfrió hasta el punto que se detuvieron todas las reacciones nucleares. La acción de la gravedad en regiones donde las fluctuaciones de densidad ocasionaron eventualmente concentraciones masivas de materia en el espacio, dio lugar a la formación de estrellas. En las estrellas se dan las

condiciones necesarias para la síntesis de elementos químicos con mayor número atómico.

### 3.2. Síntesis de elementos químicos en las estrellas: Del C al U

La compresión gravitatoria en las estrellas produce un recalentamiento de la materia hasta alcanzar temperaturas y densidades que permiten reacciones nucleares. Así, alrededor de  $10^7$  K y  $100 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  los protones inician su combustión nuclear y producen núcleos de helio. La combustión del hidrógeno es característica del 90% de las estrellas del universo, entre las cuales el Sol es un ejemplo. En estrellas suficientemente grandes la combustión del helio origina carbono y oxígeno y, a partir de éstos, elementos más pesados hasta el silicio.

A temperaturas y densidades del orden de  $10^9$  K y  $10^6 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , respectivamente, es posible la combustión del silicio, en la que tienen lugar tanto reacciones con fotones de alta energía provenientes del núcleo de la estrella en las que se desprenden partículas  $\alpha$  como las reacciones inversas, donde el helio es capturado por los núcleos vecinos. El conjunto de estas reacciones produce principalmente núcleos con números atómicos pares y números másicos múltiplos de 4. La abundancia de los elementos viene dictada por la estabilidad de los núcleos resultantes, por esta razón, esta cadena de reacciones culmina en la síntesis del hierro, que es el elemento químico de la tabla periódica con mayor energía de enlace nuclear.

En esta etapa, se puede alcanzar una situación en la que la energía liberada en las reacciones nucleares no compense la contracción gravitacional. Cuando esto sucede, el núcleo de la estrella colapsa sobre él mismo en tan solo unos pocos segundos y la estrella explota. Es lo que se conoce con el nombre de *supernova*. Las condiciones excepcionales asociadas con la explosión de una supernova conducen a la síntesis de núcleos más pesados que el hierro mediante reacciones endotérmicas. En primer lugar, el aumento de temperatura y densidad permite nuevas reacciones nucleares; en segundo lugar, parte del hierro se rompe por fotodesintegración y se producen así un gran número de neutrones, que al no tener carga eléctrica, interaccionan con otros núcleos de las capas externas de la estrella produciendo nuevos elementos pesados.

Durante estos procesos de síntesis de elementos químicos, las estrellas pierden parte de su contenido al *medio interestelar* de manera continuada, en forma de *viento solar*, o violentamente, en forma de supernova. A medida que el gas estelar se aleja de la superficie de una estrella y se dispersa en el medio interestelar, donde la temperatura y la densidad son mucho menores, éste se enfría repentinamente y atrae electrones para formar átomos neutros y moléculas sencillas.

### 3.3. Síntesis de elementos químicos en el medio interestelar: Li, Be y B

La síntesis de elementos químicos en el *big bang* y en las estrellas explica de manera satisfactoria la existencia de casi todos los elementos de la tabla periódica y sus abundancias relativas, excepto las asociadas con Li, Be y B. Estos núcleos, de haberse formado en las estrellas o en el *big bang*, se hubieran destruido para producir helio, pues son extremadamente termolábiles. Todo parece indicar que estos tres elementos ligeros se producen a partir de la interacción de *rayos cósmicos* con núcleos de C, N y O presentes en el medio interestelar. El origen de esta teoría radica en el hecho que los rayos cósmicos que llegan a la Tierra están enriquecidos en un factor de aproximadamente  $10^6$  en Li, Be y B respecto a los valores medios.

## 4. EVOLUCIÓN QUÍMICA DE LOS ELEMENTOS

Una vez formados, los elementos acaban residiendo en el medio interestelar, donde cada centímetro cúbico contiene por término medio tan solo un átomo (la atmósfera de la Tierra a nivel del mar contiene unos  $10^{20}$  átomos por  $\text{cm}^3$ ). Esta densidad de átomos tan baja hace del medio interestelar un lugar esencialmente estéril para la evolución química de los elementos, si no fuese por la acción de la gravedad, que provoca la formación de *nubes interestelares*, donde llegan a haber  $10^3$  átomos por  $\text{cm}^3$  y temperaturas de 100 K. Bajo estas condiciones tiene lugar la formación de enlaces químicos, con lo que se originan tanto moléculas discretas como fases condensadas.

De este modo, en las nubes interestelares se puede distinguir una fase gaseosa y una fase sólida. La fase sólida consiste en partículas de unos  $0,1 \mu\text{m}$  de diámetro, cuyos componentes más abundantes son el grafito,  $\text{H}_2\text{O}$  (s) y silicatos y, en menor cantidad, hidrocarburos policíclicos aromáticos y fullerenos. En un tipo de meteoritos primitivos, los denominados *condritas carbonáceas*, se preservan intactas además pequeñas cantidades de polvo interestelar original, entre los que se encuentra carburo de silicio, grafito, diamante, corindón y nitruro de silicio. La fase gaseosa de las nubes interestelares consiste esencialmente en hidrógeno molecular y menores cantidades de monóxido de carbono y agua, junto a un centenar de especies moleculares discretas de hasta 13 átomos.

## 5. DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS

Nuestro planeta, al igual que el resto del sistema solar, se formó hace unos  $4,6 \times 10^9$  años a partir del colapso gravitacional de una nube interestelar. En el proceso de contracción se formó el Sol en el centro de la nube y un disco de materia en el plano ecuatorial que dio lugar a pequeños aglomerados sólidos, a partir de los cuales se originaron los planetas. En este momento, la distribución de los elementos químicos en el sistema solar fue muy heterogénea debido al importante gradiente térmico

existente en su interior, de manera que por su proximidad al Sol la Tierra se empobreció en elementos volátiles (H, He, C, N, etc.) y enriqueció en elementos con mayor temperatura de condensación (Fe y otros), tal y como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. *Abundancia relativa de elementos químicos en la Tierra respecto a los valores medios del universo. Todos los datos están normalizados respecto al Si.*

<u>Elemento</u>	<u>log [Tierra]/[Universo]</u>
H	-6,6
He	-14
C	-4,0
N	-6,0
O	-0,8
Si	0,0
S	-0,5
Cl	-0,7
Fe	+0,6

Por otro lado, una vez formada, la Tierra sufrió una diferenciación química profunda en su interior, debido a que los elementos químicos tienen distintas afinidades químicas y propiedades físicas, lo que les induce a separarse unos de otros y a reagruparse en grupos afines cuando las condiciones de movilidad atómica lo permiten (figura 2). La energía necesaria para provocar la redistribución de los elementos químicos fue proporcionada fundamentalmente como energía térmica a partir de la desintegración radioactiva natural de núcleos inestables. La diferenciación interna de la Tierra dio lugar, a grandes rasgos, a su división actual en núcleo, manto y corteza.

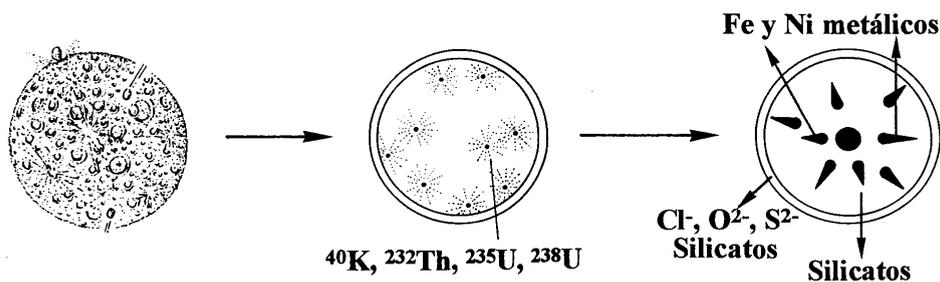


Figura 2. *Esquema de la diferenciación química de la Tierra.*

La diferenciación química de la Tierra resultó en una redistribución de los elementos químicos en ella y en la formación de especies químicas distintas en función de sus propiedades. Así, determinados elementos tienen afinidad por el hierro metálico y se comportan como él, son los elementos llamados *siderófilos*, entre los que se encuentran el Fe, Ni, Co y los elementos del grupo del Pt. Los elementos siderófilos incluyen los metales relativamente inactivos desde el punto de vista químico, y una de sus características más distintivas son sus densidades elevadas. Por este motivo, en la diferenciación química o redistribución de los elementos en la Tierra, los elementos siderófilos se acumularon por hundimiento gravitacional y formaron el núcleo. Otros elementos tienen afinidad por el azufre, son los elementos llamados *calcófilos*, como el Cu, Ag, Zn y Cd. En general, los elementos calcófilos muestran energías de ionización elevadas y forman sulfuros covalentes en la naturaleza. Los elementos que tienen afinidad por el oxígeno se les denomina *litófilos*, como el Na, K, Mg, Ca, Si y Al, y se encuentran fundamentalmente en forma de silicatos. Los elementos litófilos poseen energías de ionización bajas y se unen al oxígeno mediante enlaces fuertes. Los elementos litófilos muestran potenciales de reducción estándar más negativos que los elementos calcófilos, y éstos, a su vez, más negativos que los elementos siderófilos. Durante la diferenciación interna de nuestro planeta los elementos litófilos se concentraron en la litosfera (tabla 2) y son los que tenemos a nuestro abasto para su explotación. Finalmente, los elementos que se encuentran preferentemente en la atmósfera se les llama *atmófilos*, como el He, Ar y N. Esta clasificación de los elementos permite entender, de un modo genérico, la forma química dominante de cada uno de ellos en la naturaleza, aunque algunos pueden presentar distintos comportamientos, como el caso del hierro, que además de ser un elemento genuinamente siderófilo también es un elemento litófilo y calcófilo que se presenta en nuestro entorno en forma de óxidos (como hematites) y pirita, respectivamente.

Tabla 2. Porcentaje en peso de los elementos químicos más abundantes de la Tierra en su conjunto y de su litosfera.

<u>Tierra</u>		<u>Litosfera</u>	
Fe	35,4	O	46,6
O	27,8	Si	27,2
Mg	17,0	Al	8,13
Si	12,6	Fe	5,00
S	2,7	Ca	3,63
Ni	2,7	Na	2,83
Ca	0,6	K	2,59
Al	0,4	Mg	2,09

## BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

1. P.A. Cox, *The elements. Their origin, abundance and distribution*, Oxford University Press, New York (1989), 1-92.
2. S.I. Dutch, *J. Chem. Educ.*, **1999**, Vol. 76, 356-358.
3. J.E. Fergusson, *Educ. Chem.*, **1978**, Vol. 15, 182-184.
4. J.E. Fergusson, *Educ. Chem.*, **1978**, Vol. 16, 90-92.
5. J.E. Fergusson, *Inorganic Chemistry and the Earth*, Pergamon Press, Oxford (1982), 2-26.
6. N. Glickstein, *J. Chem. Educ.*, **1999**, Vol. 76, 353-355.
7. E.B. Norman, *J. Chem. Educ.*, **1994**, Vol. 71, 813-819.
8. Y. T. Oganessian, V.K. Utyonkov, K.J. Moody, *Investigación y Ciencia*, **2000**, n°. 3, 21-25.
9. J. Selbin, *J. Chem. Educ.*, **1973**, Vol. 50, 306-310.
10. J. Selbin., *J. Chem. Educ.*, **1973**, Vol. 50, 380-387.
11. R.J. Tayler, *Educ. Chem.*, **1984**, Vol. 5, 79-81.
12. V.E. Viola, *J. Chem. Educ.*, **1990**, Vol. 67, 723-730.

## QUÍMICA DE LOS FUEGOS ARTIFICIALES: UN RECURSO DIDÁCTICO TOMADO DE LAS FIESTAS POPULARES.

*Fernando Peral, M<sup>a</sup>. Dolores Troitiño, M<sup>a</sup>. Cruz Izquierdo, M<sup>a</sup>. Ángeles de la Plaza*  
Departamento de Ciencias y Técnicas Fisicoquímicas  
Universidad Nacional de Educación a Distancia  
Paseo Senda del Rey 9, 28040-Madrid.  
fperal@ccia.uned.es

*Los fuegos artificiales, tan extendidos en las celebraciones populares de nuestro país, ofrecen una excelente oportunidad para analizar un acontecimiento festivo al alcance de todos como un experimento integrado en Termoquímica, Espectroscopía y Dinámica molecular, que posibilita revisar conocimientos químicos que se extienden desde los niveles educativos más básicos hasta los más avanzados.*

### 1. INTRODUCCIÓN HISTÓRICA

Los fuegos artificiales tienen una importante presencia en la vida actual, ya que se utilizan en casi todas las fiestas populares, muchas veces como gran final (incluso de milenio, como hemos podido vivir recientemente), y también en celebraciones oficiales y espectáculos. El uso de los fuegos artificiales está muy extendido en nuestro país, donde hay grandes expertos, y tiene una considerable repercusión económica al proporcionar el medio de trabajo de numerosas industrias pirotécnicas. Etimológicamente la palabra *pirotecnia* proviene de los vocablos griegos *piros*, fuego, y *techne*, arte o técnica. Según el Diccionario de la Real Academia Española, pirotecnia significa “*el arte que trata de todo género de invenciones de fuego, en máquinas militares y en otros artificios para diversión y festejos*”. Esta definición divide la pirotecnia en dos apartados: el militar y el lúdico, si bien los mismos artificios sirven para un fin o para otro. Quizás el primer experimento de esta técnica fue la creación del fuego, pero sólo hace unos 200 años se ha interpretado correctamente el fuego como una forma de energía y se han definido las llamas como las regiones luminosas producidas por un gas caliente.

Los antiguos pueblos chino, indio y egipcio fueron muy aficionados a los festejos amenizados con fuegos artificiales, a los que daban color usando sales de sodio. Transmitieron sus conocimientos a los griegos y más tarde a los romanos, de los que quedan escritos que relatan su empleo en festejos nocturnos. El arte decae en el siglo IV pero resurge hacia el siglo XII con la introducción de la pólvora descubierta por los chinos.

Los árabes mantienen la tradición (en el siglo XIII Nedjen Eddin Hassan Alzammab dejó escritas sus recetas para fabricar estrellas, vapores de colores, ruedas, cohetes volantes, etc.) e introducen la pirotecnia en España. Así, las crónicas de los

reyes de Aragón se refieren a los festejos con fuegos artificiales y, de la mano de los aragoneses, vuelve la tradición a Italia. En 1540 el metalúrgico Vannoccio Biringuccio recoge en su obra "*Pirotecnica*" las formulas y técnicas utilizadas en aquel momento. También se extiende por Francia, llegando a su máximo apogeo en el reinado de Luis XV. Una de las obras más populares de la música es la "*Música para los reales fuegos artificiales*", compuesta por Haendel en 1749 para acompañar un festival pirotécnico que conmemoraba la Paz de Aix-la-Chapelle o Aquisgrán (18 de octubre de 1748).

Hasta finales del siglo XVIII los maestros pirotécnicos trabajaban aislados y en secreto, transmitiendo sus conocimientos sólo a sus discípulos. El desarrollo de la técnica se lleva a cabo en toda Europa, pero en las zonas mediterráneas (España e Italia, principalmente) los pirotécnicos buscan el mayor impacto visual en el público, y en la escuela alemana de Nüremberg se alcanza un mayor adelanto científico.

Merece destacarse que los fuegos artificiales fueron monocromos hasta el siglo XIX, ya que se utilizaba el sodio casi en exclusiva. Se necesitaron determinados adelantos químicos para introducir los vivos colores que disfrutamos hoy. Así, la introducción del color rojo se encuentra estrechamente ligada a la historia del descubrimiento de los elementos químicos (1), concretamente del estroncio, que fue extraído del  $\text{SrCO}_3$  por primera vez en 1807 por Davy. Este carbonato es, aún en la actualidad, uno de los componentes básicos en la fabricación de los fuegos. También fue necesario disponer de sales de clorato para formar a partir de ellas los cloruros que dan diferentes especies responsables del color.

Por su relación con muchos conceptos químicos básicos, los fuegos artificiales ofrecen una oportunidad excelente para utilizarlos como un recurso didáctico para la enseñanza práctica de la Química basada en los hechos de la vida cotidiana (2-3).

## 2. FUNDAMENTOS BÁSICOS

Se requiere considerable experiencia para la preparación de las mezclas más adecuadas para producir los fuegos artificiales. La pirotecnica se basa en la utilización de fórmulas artesanales que se guardan celosamente, pero existen siempre unos componentes generales: oxidantes, reductores, estabilizantes o ligantes, agentes que proporcionan los colores, etc., cuya discusión puede ser instructiva para alumnos de diferentes niveles educativos (4-7). Es conveniente advertir a los alumnos de los peligros de la manipulación imprudente de estas sustancias y de su regulación mediante el Reglamento de explosivos (Real Decreto 230/1998, de 16 de Febrero).

Los agentes productores del color se usan en forma de sales y raramente como metales en polvo. De las sales metálicas solamente el catión produce el color, mientras que los aniones no influyen directamente en el color, aunque sí lo hacen en la temperatura de la llama, que está relacionada con la excitación de las moléculas. En la Tabla 1 se resumen los productos de partida más utilizados para conseguir los colores de los fuegos artificiales.

Tabla 1. *Sustancias químicas de partida utilizadas para producir los colores de los fuegos artificiales.*

<b>Color</b>	<b>Sustancias químicas</b>
Rojo	$\text{Li}_2\text{CO}_3$ , $\text{SrCO}_3$ , $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ , $\text{SrC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Naranja	$\text{CaCl}_2$ , $\text{CaSO}_4 \cdot x \text{H}_2\text{O}$ ( $x = 0, 2, 3, 5$ ), $\text{CaCO}_3$
Dorado	Fe, C, Aleación Ti-Fe
Amarillo	$\text{NaNO}_3$ , $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ (criolita), $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ , $\text{NaHCO}_3$ , $\text{NaCl}$
Verde	$\text{BaCl}_2$ , $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ , $\text{Ba}(\text{ClO}_3)_2$ , $\text{BaCO}_3$
Azul	Acetoarsenito de Cu (verde París o verde esmeralda, $3\text{CuO} \cdot \text{As}_2\text{O}_3 + \text{Cu}(\text{CH}_3\text{-COO})_2$ ), $\text{CuCl}$ (azul turquesa), $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , $\text{CuH} \cdot \text{AsO}_3$
Violeta	
Plata	Mezcla de compuestos de Sr (rojo) y Cu (azul)
Blanco	Al, Ti, Mg
“Eléctrico”	Al, Mg, BaO, sales de antimonio

Como apoyo didáctico, puede ser conveniente indicar a los alumnos dónde se localizan en el Sistema Periódico los elementos relevantes a los fuegos artificiales, y explicar qué función cumplen en la forma en que se utilizan realmente. Los fundamentos fisicoquímicos que se comentan en el presente trabajo abarcan principalmente aspectos *termoquímicos* y aspectos *espectroscópicos* (8-9).

### 3. TERMOQUÍMICA DE LOS FUEGOS ARTIFICIALES

En las reacciones que dan lugar a los fuegos artificiales hay agentes *oxidantes* y agentes *reductores*. Por tanto, en sentido amplio se pueden considerar como reacciones electroquímicas de oxidación y reducción. No obstante, para estas reacciones no es posible calcular los potenciales *redox* con los métodos utilizados habitualmente, ya que los potenciales de semi-reacción tabulados son válidos para disoluciones, pero no para fase gaseosa. En su lugar, puede indicarse la relevancia del concepto de potencial de ionización, que es una propiedad periódica. En todo caso, resulta formativo efectuar el cálculo de las entalpías de las reacciones implicadas y comentar los órdenes de magnitud obtenidos (10).

#### 3.1. Agentes oxidantes en los fuegos artificiales

Los oxidantes proporcionan el oxígeno necesario para producir la combustión de la mezcla. Los oxidantes más utilizados son los nitratos, cloratos y percloratos. Los nitratos están compuestos por el ion nitrato y un ion metálico y ceden 1/3 de su contenido en oxígeno para dar el correspondiente nitrito y oxígeno. Los cloratos están compuestos por el ion clorato y un ion metálico, y ceden la totalidad de su contenido en oxígeno, causando una reacción espectacular y explosiva. Los percloratos

contienen más oxígeno que los cloratos, pero es menos probable que exploten por efecto de un impacto. Las reacciones de los oxidantes empleados en los fuegos artificiales ofrecen una excelente oportunidad como ejercicio de cálculo de las entalpías de reacción a partir de las entalpías de formación tipo de las sustancias reaccionantes. (Tabla 2). De las reacciones tabuladas, la [1] es la única endotérmica y por tanto resultará favorecida al elevar la temperatura. Las restantes reacciones de la Tabla son exotérmicas y se favorecen a baja temperatura. La reacción [3] presenta el interés especial de que da lugar a la producción de cloro. La reacción [4] es moderadamente exotérmica, aun tratándose de un perclorato, como consecuencia de que los valores de  $\Delta H_f^0$  de las dos sales implicadas son similares. La reacción [5] tiene la particularidad de que todos los productos están en estado gaseoso, lo que resulta conveniente para la producción de los colores sin interferencias.

Tabla 2. Reacciones de oxidación y valores de entalpías de reacción calculadas a partir de las entalpías de formación tipo  $\Delta H_f^0$  a 298,15 K de los compuestos reaccionantes (tomadas de "CRC Handbook of Chemistry and Physics", CRC Press, Boca Raton, 75 ed., 1994).

Oxidante	Reacción	$\Delta H_f^0 / \text{kJ mol}^{-1}$	$\Delta H_{\text{reacción}}^0 / \text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
KNO <sub>3</sub> (s)	[1] 2KNO <sub>3</sub> (s) → 2KNO <sub>2</sub> (s) + O <sub>2</sub> (g)	KNO <sub>3</sub> (s) = - 494,6 KNO <sub>2</sub> (s) = - 369,8 O <sub>2</sub> (g) = 0,0	249,6
KClO <sub>3</sub> (s)	[2] 2KClO <sub>3</sub> (s) → 2KCl(s) + 3 O <sub>2</sub> (g)	KClO <sub>3</sub> (s) = - 397,7 KCl (s) = - 436,5 O <sub>2</sub> (g) = 0,0	-77,6
	[3] 2KClO <sub>3</sub> (s) → K <sub>2</sub> O(s) + Cl <sub>2</sub> (g) + 5/2 O <sub>2</sub> (g)	KClO <sub>3</sub> (s) = - 397,7 K <sub>2</sub> O (s) = - 361,5 Cl <sub>2</sub> (g) = 0,0 O <sub>2</sub> (g) = 0,0	-433,9
KClO <sub>4</sub> (s)	[4] KClO <sub>4</sub> (s) → KCl(s) + 2 O <sub>2</sub> (g)	KClO <sub>4</sub> (s) = - 432,8 KCl(s) = - 436,5 O <sub>2</sub> (g) = 0,0	-7,4
NH <sub>4</sub> ClO <sub>4</sub> (s)	[5] 2NH <sub>4</sub> ClO <sub>4</sub> (s) → N <sub>2</sub> (g) + 3H <sub>2</sub> O(g) + 2HCl(g) + + 2,5 O <sub>2</sub> (g)	NH <sub>4</sub> ClO <sub>4</sub> (s) = - 295,3 N <sub>2</sub> (g) = 0,0 H <sub>2</sub> O(g) = -241,8 HCl(g) = - 92,3 O <sub>2</sub> (g) = 0,0	-319,4

### 3.2. Reductores en los fuegos artificiales

Los agentes reductores actúan como combustible para quemar el oxígeno producido por los oxidantes y, como consecuencia, se produce gas a alta temperatura.

Algunos de los reductores utilizados aparecen en la Tabla 3, entre ellos el azufre y el carbono, que reaccionan con el oxígeno para formar dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y que son, junto con el nitrato potásico o nitrato sódico (en proporciones de 10, 15, 75%) los componentes tradicionales de la pólvora negra.

Además de los oxidantes y reductores, se adicionan otras sustancias que actúan como *reguladoras* de la velocidad de la reacción y como *ligantes* de la mezcla. Así, se puede acelerar, o retardar, la reacción cuando se combinan dos agentes reductores; los metales se añaden a menudo para acelerarla y cuanto más fino es el polvo que se mezcla, más rápida es la reacción. Por su lado los agentes ligantes deben tener, entre otras, las siguientes características: un fuerte poder de cohesión que permita la consolidación de la mezcla; resistencia al agua o a cualquier disolvente; dureza; estabilidad para no descomponerse durante el almacenaje; y, por último, no deben alterar el color de la llama del compuesto. El producto más usado como ligante es la *dextrina*, aunque también son muy utilizados la *goma arábiga* y el *parlón* (isopropeno de caucho clorado) que, además, es útil cuando se usan sales de estroncio y bario para obtener colores rojos y verdes.

#### 4. ESPECTROSCOPIA DE LOS FUEGOS ARTIFICIALES

Al producirse la mezcla, los agentes productores del color tales como las sales de Sr, Ba, etc., reaccionan con los oxidantes en una primera etapa para dar óxidos e hidróxidos. En una segunda etapa, se pueden producir otras nuevas especies que son las realmente responsables de los colores observados. En varios casos, se trata de moléculas diatómicas transitorias generadas en las llamas a temperaturas elevadas, por combinación del Cl liberado por las sales de partida con los iones metálicos de los productos originales. En la Tabla 4 se relacionan los colores observados con las especies responsables, y se indican los intervalos espectrales correspondientes, en nm. En conjunto, el intervalo de número de ondas que se abarca comprende desde 16.000 a 25.000  $\text{cm}^{-1}$ , aproximadamente. De las especies incluidas en esta tabla, conviene destacar la presencia de moléculas con estequiometrías no convencionales, en las que los iones alcalinotérreos actúan con valencia uno. El SrCl y el BaCl existen sólo a altas temperaturas, mientras que el CuCl es inestable en estas condiciones. Esta incompatibilidad ilustra una de las dificultades que se tienen que afrontar en la preparación de los fuegos.

Los procesos responsables de la producción del color en los fuegos artificiales son dos: la incandescencia y la luminiscencia. En el primero de ellos, la incandescencia, la luz se produce a partir de la energía calorífica. El calor provoca que una sustancia emita radiación, primeramente en la región infrarroja del espectro, para después emitir radiación roja, naranja, amarilla y, finalmente, blanca si el calor suministrado es suficiente. Esta emisión luminosa no está constituida por longitudes de onda precisas, sino que es un espectro continuo.

Tabla 3. Sustancias químicas utilizadas como reductores en los fuegos artificiales.

Sustancia	Características
Carbono	Entre sus cualidades: <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ su fuerza explosiva, ya que produce una gran cantidad de calor con el oxidante,</li> <li>✓ ajusta la velocidad de quemado de los componentes,</li> <li>✓ modifica el carácter de ignición de los componentes,</li> <li>✓ permite obtener fuegos sin polvo,</li> <li>✓ incrementa el brillo de la llama,</li> <li>✓ ayuda a quemar los componentes.</li> </ul>
Azufre	Tiene una temperatura de ignición baja. Las mezclas de S con algunos oxidantes son muy sensibles a los golpes y a la fricción. La sensibilidad de estas mezclas disminuye en el orden $KClO_3 > NH_4ClO_4 > KClO_4 > NO_3^-$ .
Aluminio	Con los nitratos (excepto nitrato de amonio) y en presencia de agua da $H_2$ , $NH_3$ y $NO_x$ . Con $KNO_3$ , $NaNO_3$ , $Sr(NO_3)_2$ o $Ba(NO_3)_2$ lo hace de manera muy violenta.
Magnesio	Arde muy bien en combinación con un oxidante, aún cuando la cantidad de oxígeno no sea suficiente para completar la combustión. Esto es debido a que el Mg es fácilmente vaporizado y arde con una gran llama captando el oxígeno del aire.
Al-Mg	Esta aleación arde sin ninguna dificultad con cloratos y percloratos produciendo una llama brillante y con pequeña cantidad de polvo.
Limaduras de hierro	El Fe puede provocar problemas de combustión, pero se usa para la producción de chispas. Rara vez las da si el contenido en carbón es $<0,2\%$ , mientras que las partículas de Fe se activan y producen grandes chispazos si el contenido es $>0,8\%$ . Un largo periodo de almacenamiento disminuye la capacidad de producir chispas.
Fósforo rojo	Sólo arde en el aire por un fuerte impacto y produce una hermosa llama amarilla. Sensible a la fricción y a la ignición, explota fácilmente en mezcla con un oxidante. Debe tenerse especial cuidado con las mezclas con $KClO_3$ , $KClO_4$ y $NH_4ClO_4$ .
Goma laca	Es el ácido trihidroxipalmitico ( $C_{16}H_{26}O_4$ ) que tiene un mayor contenido de hidrógeno que otros combustibles, por lo que la llama producida es de muy alta temperatura.
Resina	Se oxida lentamente por lo que se puede usar sin problemas con los cloratos.
Raíz de pino	Buen combustible para compuestos que no contengan cloratos.
Otros	Ti, Fe-Si, polvo de Zn, almidón, lactosa, sacarosa, dextrosa, $As_2S_2$ (mineral de arsénico), $Sb_2S_3$ .

Tabla 4. Colores de los fuegos artificiales y asignaciones espectroscópicas. En algún caso son moléculas con estequiometría no convencional, como se explica en el texto

Color	Especie responsable	Intervalo de longitudes de onda (nm)
Rojo	SrCl	646 – 640
		635 – 627
		623 – 617
Naranja	CaCl	608 – 603 (más intensas)
		599 – 591
Amarillo	Na (emisión atómica)	589
Verde	BaCl	533 – 530
		528 – 524
		515 – 511
Azul	CuCl	530 – 460
		456 – 403 (más intensas)

El ojo humano lo percibe como una gama de colores que, según la temperatura, irá del rojo hasta el blanco. Si la temperatura puede ser controlada, se podrán obtener el color y el efecto deseados. Así, metales como el Al, Mg y Ti se quemarán desprendiendo un gran brillo.

El segundo proceso, la *luminiscencia*, es la emisión de luz no causada por combustión y que tiene lugar a temperaturas menores. Así, cuando determinados materiales absorben energía de distintas clases, parte de esta energía puede ser emitida en forma de luz. Un ejemplo de esta emisión luminiscente es la luz que emiten algunas pegatinas y adhesivos que brillan en la oscuridad después de haber sido expuestas a la luz natural o artificial. El efecto que se observa es el denominado *espectro de emisión* de la sustancia, constituido por líneas en el caso de los átomos o por bandas, más o menos anchas, en el caso de las moléculas. En cualquier caso el espectro obtenido no es continuo y lo que el ojo percibe son zonas de color más o menos aisladas y en las que, generalmente, es dominante un color. Por tanto, los efectos visuales característicos de los fuegos artificiales se deben fundamentalmente a espectros de emisión de llama, bien atómicos o bien moleculares, que tienen lugar en la región visible (11-12). Los espectros de las especies generadas constituyen un tema de investigación de plena actualidad (13-16), debido a su interés en relación con los láseres y la dinámica de las reacciones químicas (17).

Tal vez el color más fácil de obtener sea el amarillo, que se debe al conocido doblete del Na asignado a las transiciones  $^2P_{1/2,3/2} \rightarrow ^2S_{1/2}$  (12). Precisamente, el sodio es un contaminante de las mezclas pirotécnicas, tanto porque les comunica su color característico como porque sus sales retienen agua y alteran el comportamiento químico de dichas mezclas. Por ello, suele sustituirse por potasio.

Uno de los colores más difíciles de conseguir es el azul, cuyas fórmulas artesanales se mantienen en cierto secreto. La región espectral situada entre el verde y el azul no dispone todavía de sustancias adecuadas y constituye uno de los objetivos actuales de investigación de la industria pirotécnica.

## 5. POSIBLES EXPERIMENTOS

Entre los posibles experimentos prácticos que se pueden proponer a los alumnos, el más sencillo e inmediato es, quizá, la identificación de las sustancias por el color que producen en la llama de un mechero Bunsen. Como es obvio, se requieren utilizar productos que no sean explosivos. Otros experimentos de interés se refieren a la producción de fuegos de color rojo, verde y amarillo a partir de nitratos de Sr, Ba y Na, respectivamente, y están descritos en la obra de Roesky y Möckel (18).

Si se dispone de instrumentos más perfeccionados, propios de un laboratorio universitario, es posible abordar la producción de espectros de emisión de llama o de chispa con electrodos de carbono (11,19).

## 6. PROGRAMACIÓN DIDÁCTICA

Algunos objetivos que se pretenden lograr con las experiencias didácticas relativas a la Química de los fuegos artificiales se formulan a continuación. De estos objetivos, se pueden diferenciar los que corresponden a niveles más básicos y los de niveles más avanzados.

Objetivo general:

- Comprender los fundamentos químicos de los fuegos artificiales.

Objetivos específicos:

- Conocer cuándo y dónde se inventaron los fuegos artificiales.
- Conocer cómo se introdujeron en Europa y cómo han evolucionado desde entonces, en relación con los avances de la Química.
- Describir los compuestos químicos que intervienen en la preparación de los fuegos artificiales en la actualidad.
- Enumerar los componentes de la pólvora negra y sus proporciones en la mezcla.
- Describir qué tipo de reacciones químicas fundamentales se producen en la generación de los fuegos.
- Calcular las variaciones de energía que se desarrollan en las reacciones (*nivel avanzado*).
- Identificar los elementos responsables de cada uno de los colores observados.
- Describir los mecanismos que producen la emisión de luz.
- Efectuar la asignación espectroscópica de las bandas de emisión responsables de los colores (*nivel avanzado*).
- Relacionar la producción de las especies responsables de los colores con los estudios actuales de los láseres y la dinámica molecular (*nivel avanzado*).

## REFERENCIAS

### Fundamentos químicos

1. M.C. Izquierdo, F. Peral, M.A. de la Plaza y M.D. Troitiño, *Evolución histórica de los principios de la Química*, UNED, Madrid (2002).
2. M.F. Fernández y J.A. Hidalgo, *Química General*, Ed. Everest, Madrid (1999).
3. J. Morcillo y M. Fernández, *Química*, Grupo Anaya, Madrid (1995).

### Fuegos artificiales

4. C. O'Driscoll, *Chemistry in Britain*, **2002**, (Noviembre), 36.

5. M.S. Russell, *The Chemistry of fireworks*, Royal Society of Chemistry, Cambridge (2000).
6. T. Shimizu, *Fireworks: The Art, Science and Technique*, 3ª ed., Pyrotechnica Publications, Austin (1996).
7. J.A. Conkling, *Investigación y Ciencia*, **1990**, nº 168 (Septiembre).
8. <http://www.pyrotechnie.net/Html/principes.htm>
9. <http://www.pbs.org/wgbh/nova/kaboom/elemental/>

### **Termoquímica, Espectroscopía y Dinámica molecular**

10. P.W. Atkins, *Química Física*, 6ª ed., Ed. Omega, S.A., Barcelona (1999).
11. B.P. Straughan y S. Walter, eds., *Spectroscopy*, Vol. 3, Chapman and Hall, Londres (1976).
12. J. Morcillo, J.M. Orza, *Espectroscopía: Estructura y espectros atómicos*, Alhambra, Madrid (1972).
13. T. Parekunnel, L.C. O'Brien, T.L. Kellerman, T. Hirao, M. Elhanine y P.F. Bernath, *J. Mol. Spectrosc.*, **2001**, Vol. 206, 27-32.
14. S. Raouafi, G.H. Jeung y C. Jungen, *J. Mol. Spectrosc.*, **1999**, Vol. 196, 248-258.
15. P. Kierzkowski, B. Pranszke y A. Kowalski, *Chem. Phys. Lett.*, **1996**, Vol. 254, 391-396.
16. O. Launila, P. Royen y M. Zackrisson, *Mol. Phys.*, **1993**, Vol. 78, 763-767.
17. A.H. Zewail, *Investigación y Ciencia*, **1991**, nº 173 (Febrero).

### **Prácticas de laboratorio**

18. H.W. Roesky y K. Möckel, *Chemical curiosities*, VCH, Weinheim (1996), 45-48.
19. G.A. Lori y R.G. Scott, *Emisión Spectroscopy in the undergraduate Laboratory*, <http://pittcon.omnibooksonline.com/2001/papers/1474P.pdf>, Omnibooksonline.com (2001).



## TRABAJANDO CON TENSIOACTIVOS: UN ENFOQUE APLICATIVO DE SU ACTIVIDAD ESPUMANTE

*Teresa Unda Carbott*<sup>1</sup>, *Jean Paul Canselier*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Química, Circuito interior, Universidad Nacional Autónoma de México  
Edificio A, Ciudad Universitaria, 04510-México D.F. tunda45@hotmail.com

<sup>2</sup>Laboratoire de Génie Chimique (UMR CNRS 5503), E.N.S.I.A.C.E.T.  
Institute National Polytechnique de Toulouse, Cedex 4, France

*Conocer las sustancias que son capaces de modificar las características de un sistema, a fin de satisfacer una necesidad cotidiana, es un reto para la práctica docente en el contexto de su aplicación industrial y su posterior utilización en la vida diaria. El estudio de tensioactivos, respecto a la actividad espumante que presenta, aporta consideraciones aplicables para la docencia de la química. Desde esta óptica, se parte primeramente de experiencias que ilustran el fenómeno de una forma amena y sencilla, para pasar después a la experimentación cuantitativa sobre el poder espumante de estos agentes y la influencia de diversos parámetros sobre ellos, lo que permite mostrar al estudiante la relación de este fenómeno con su aplicación industrial.*

### 1. INTRODUCCIÓN

Si pudiéramos conocer la composición de ciertas sustancias tan familiares para nosotros como son: un champú, una mayonesa, una pintura para recubrir una pared, una crema lubricante, un detergente para ropa, un aderezo de ensalada, una espuma de afeitar, un vino espumoso (champaña), un maquillaje, un *spray* limpia alfombras, una espuma anti-incendio, o una emulsión farmacéutica, nos daríamos cuenta que existe un elemento común e indispensable a todas ellas: un tensioactivo, llamado también surfactante o agente de superficie activa, capaz de modificar las propiedades de superficie en un sistema, gracias a su naturaleza química y a su orientación en las interfases, lo que les confiere propiedades particulares definidas según su principal actividad. (1,2,5,6). Los tensioactivos se denominan:

- Detergentes: cuando disueltos en agua, facilitan la eliminación de suciedades, grasas, mugre, etc. Se utilizan para el lavado textil y la limpieza de todas las superficies.

- Dispersantes: cuando aumentan la estabilidad de la suspensión de pequeñas partículas sólidas en un líquido. Ejemplo de ello son las formulaciones farmacéuticas.

- Emulsionantes: cuando facilitan la formación de una emulsión, es decir, una dispersión bajo la forma de finas gotículas de un líquido en otro líquido favoreciendo la estabilidad en el sistema. Son muchas las industrias en las que sus productos son emulsiones.

- Humectantes: si favorecen el esparcimiento de un líquido sobre una superficie sólida o aumentan su velocidad de penetración en los cuerpos porosos, como algodón, cuero, o papel, entre otros.

- Solubilizantes: cuando aumentan la solubilidad aparente en el agua de cuerpos poco solubles; actividad utilizada en industria farmacéutica y alimentaria.

- Espumantes o antiespumantes: Cuando provocan o impiden la formación de espumas, y que son el objeto del presente estudio (1,4,6).

## **2. GENERALIDADES**

Hay ciertas sustancias, denominadas hidrófilas, que tienen una afinidad natural por el agua, como los azúcares, el glicerol y los glicoles. Existen otras que tienen una afinidad natural por los aceites, petróleo y parafinas, y se denominan hidrófobas. Las sustancias que contienen en su molécula una parte hidrófila y una parte hidrófoba se llaman anfífilas. A este grupo pertenecen los tensioactivos.

Cuando un tensioactivo se encuentra en solución acuosa, las partículas se colocan en las interfases orientándose de tal forma que la parte hidrófila de su molécula se oriente hacia el agua y la parte hidrófoba hacia el exterior. Cuando esta interfase es la superficie libre de la solución en contacto con el aire se forma una película superficial de moléculas orientadas que modifican las propiedades del sistema disminuyendo la tensión superficial; de ahí el nombre que recibe.

Cuando la interfase es la superficie de contacto entre un líquido y un gas, las moléculas tensioactivas se agrupan en esta interfase, con la parte hidrófila de su molécula dirigida al agua y la parte hidrófoba hacia el gas, creando por consecuencia un enlace entre líquido y el gas, lo que provoca una disminución de la tensión interfacial y facilita la formación de espumas (3,4,5).

La formación de espumas en un sistema líquido necesita un aporte de energía, bien por un medio físico (aireación, agitación mecánica o caída de un líquido), bien por una reacción química o bioquímica (una neutralización ácido-base o una fermentación). En el primer caso, el gas suele ser el aire mientras que en los procesos químicos pueden producirse desprendimientos de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2$ , etc. (3).

Los líquidos puros no pueden formar espumas estables a menos que se agregue un segundo componente, como un tensioactivo que se adsorba en la interfase líquido-gas, un sólido finamente dividido, un cristal líquido o una monocapa insoluble (7). Las espumas líquidas, a diferencia de las sólidas, son sistemas metaestables cuyo tiempo de vida es muy variable, pero que puede ser aumentado dependiendo de la función práctica de la espuma; tal efecto se logra por una viscosidad superficial aumentada que va a retardar el drenaje de líquido, y por una tensión superficial baja de la fase líquida (3,4).

### 3. METODOLOGIA

El estudio de tensioactivos se inserta en el curso de Fenómenos de Superficie curricular del sexto semestre de las carreras Química e Ingeniería Química en la Facultad de Química de la U.N.A.M., donde se estudian las diferentes interfases y los fenómenos que ocurren en ella. Este curso pretende que el trabajo experimental integrado a los conocimientos teóricos lleven a construir un conocimiento con miras a plantear hipótesis sobre resolución de problemas de aplicación industrial.

#### 3.1. Introducción al tema

A fin de lograr este aprendizaje significativo, se les solicita a los alumnos organizarse en el laboratorio en subgrupos para desarrollar ciertas actividades:

a) Investigar las aplicaciones prácticas en los diferentes campos de la industria y de la vida diaria donde estén presentes las espumas.

b) El diseño de un mapa conceptual (8) conteniendo conceptos clave ordenados jerárquicamente; por ejemplo: interfase, energía libre, tensión superficial, tensioactivos, lamelas, bordes de *Plateau*, elasticidad de película, drenaje del líquido, entre otras

#### 3.2. Experiencias de cátedra

Se intentan presentar ciertos experimentos o experiencias de cátedra que de una forma amena y sencilla, ilustren cualitativamente el fenómeno (9-12). Para tal fin hay un sinnúmero de experiencias fáciles de demostrar en un aula, que utilizan productos comerciales. Así por ejemplo:

Películas de agua jabonosa. Ilustra la elasticidad de la película y la adsorción de las moléculas de jabón en la película superficial del agua. Con detergente líquido para trastes, glicerina, recipientes y una estructura de cobre se pueden observar pompas de jabón esféricas y poliédricas, gigantes y de diferente forma:

- Producción de espumas. Ilustra la formación de espuma por la presencia de un gas. Una simple reacción con vinagre y bicarbonato de sodio se produce  $\text{CO}_2$ , el cual se “recoge” en una solución de detergente, formándose fácilmente la espuma ya que el  $\text{CO}_2$  es atrapado en las burbujas de detergente. De forma similar es la formación de espuma por la producción de oxígeno a partir de agua oxigenada, experimento conocido como “pasta de dientes para elefante” ya que la espuma sale de forma espectacular.

- La piel del agua. Ilustra la alta tensión superficial del agua gracias a su estructura molecular y el abatimiento de la misma por un agente tensioactivo. En un vaso con agua se colocan cuidadosamente sobre su superficie un alfiler o una aguja y se observa que quedan detenidos como si la superficie del agua tuviera una

“membrana o piel”. Hecho esto, agregamos unas gotas de detergente líquido y los objetos se hunden.

-Amigos y enemigos de espumas. Ilustra el efecto de algunos agentes que engruesan o adelgazan la película superficial gas-líquido. Se utilizan varios productos comerciales: una espuma de afeitar, varias claras de huevo batidas a punto de turrón, un detergente líquido, etc. Se toman dos muestras de cada producto, se someten a agitación. A una de ellas se le adiciona glicerina o jarabe de maíz y a la otra acetona o alcohol, al cabo de cierto tiempo se observa en el primer caso una espuma estable mientras que en el segundo la espuma casi desaparece.

- Una vez realizada la experiencia, se desprenden preguntas a discutir y contestar sencillamente:

- ¿De qué están formadas las espumas?.
- ¿Por qué hay burbujas esféricas y poliédricas?.
- ¿Qué hace que se produzca la espuma?.
- ¿Por qué unos productos espuman y otros no?.
- ¿Por qué una espuma se rompe cuando le añadimos acetona o alcohol?.
- ¿Es cierto que mientras más espuma haga un detergente limpia mejor?.
- ¿Por qué se observan colores cuando se adelgazan las películas de jabón?.

De esta forma, a partir de preguntas obtenidas de la observación de productos cotidianos, se entrelazan los conceptos fisicoquímicos estudiados.

### **3.3. Poder espumante de tensioactivos en solución**

Posteriormente, a escala de laboratorio, se plantea la determinación de la capacidad espumante de diferentes tensioactivos (14,15).

Se seleccionan dos grupos de tensioactivos: aniónicos, como decil, dodecil, tetradecil y hexadecil sulfatos ( $C_nOSO_3Na$ ) y no-iónicos, como dodecanol polietoxilados: 4, 6, 8, 10, 15 y 20 moles de óxido de etileno ( $C_{12}E_j$ ), donde  $j = 4, 6, 8, 10, 15, 20$ . Mezclas a diferentes proporciones de tensioactivos aniónicos y de un tensioactivo no-iónico (dodecanol con 6 moles de óxido de etileno).

El efecto espumante de las soluciones se mide a diferentes temperaturas según el método de Ross y Miles (13), fácil de montar en un laboratorio universitario. Hace uso de un espumómetro, donde se coloca la solución a estudiar, formado esencialmente de un embudo de decantación, con doble pared, provisto en su salida por un tubo de acero.

Los volúmenes de espuma se miden a diferentes tiempos. La espuma se obtiene al hacer caer, en forma de un hilo delgado y a una altura determinada, 500 mL de la solución. La temperatura es mantenida constante por una circulación de agua en

la doble pared del aparato. Las soluciones se mantienen a la temperatura deseada en todo el sistema.

La estabilidad de la espuma producida se define por medidas hechas a intervalos de tiempo determinados: 0,5, 1, 2, 3 y 5 minutos, después de que se vacía el embudo de decantación.

Para cada ensayo, se anota el tiempo de vaciado de la solución a fin de verificar su reproducibilidad.

#### 4. RESULTADOS

Los resultados obtenidos se representan en diferentes gráficas para cada una de las dos series homólogas trabajadas.

La figura 1 muestra los resultados que un estudiante debe encontrar en cuanto a la capacidad espumante de los alquilsulfatos, en función del tiempo, a 25 °C.

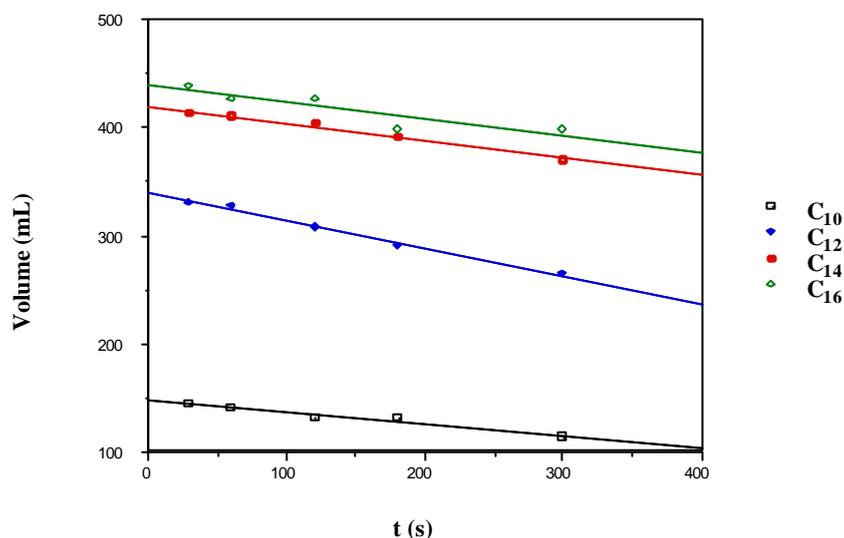


Figura 1. Capacidad espumante de alquilsulfatos de sodio.

La figura 2 mostraría los resultados que un estudiante debe encontrar en los agentes no-iónicos, en cuanto a su comportamiento espumante, sobre todo para los dodecanoles poco etoxilados C<sub>12</sub> E<sub>6</sub> y C<sub>12</sub> E<sub>7</sub>.

La capacidad espumante de estas dos familias de tensioactivos se observó que es mayor a 25 °C que a 50 °C. Complementariamente se midió la estabilidad de la espuma y la tensión superficial.

La figura 3 muestra las variaciones de la tensión superficial mínima de mezclas de dodecilsulfato de sodio (SDS) y dodecanol polietoxilados (C<sub>12</sub>E<sub>j</sub>) para valores de j = 6, 8 y 10.

La sinergia de reducción de la tensión superficial de la mezcla SDS/C<sub>12</sub>E<sub>6</sub> desaparece con los etoxilados más elevados.

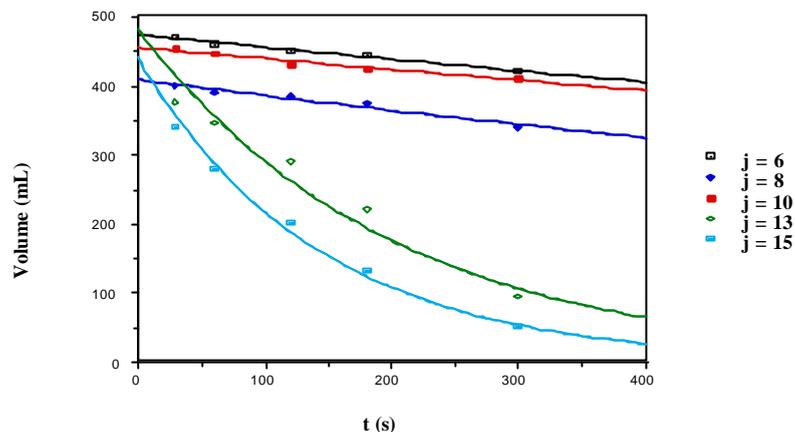


Figura 2. Capacidad espumante de dodecanoles polietoxilados.

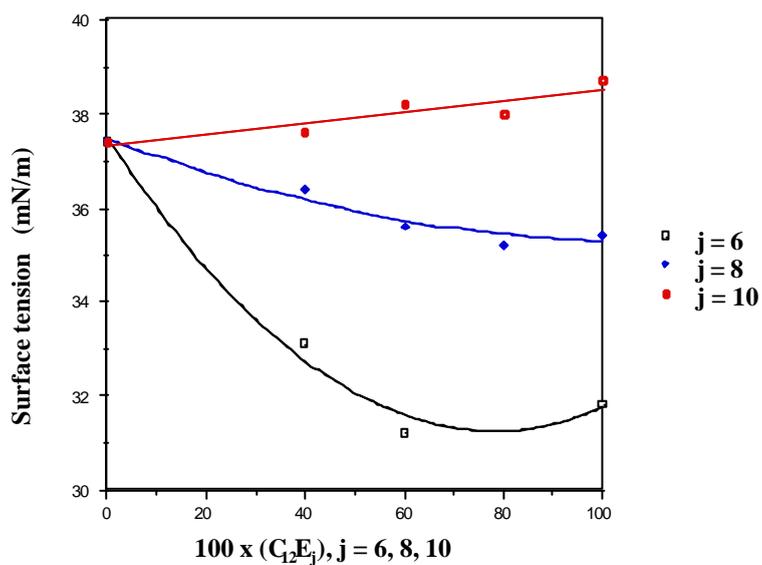


Figura 3. Tensiones superficiales mínimas de soluciones acuosas de mezclas SDS/C<sub>12</sub>E<sub>j</sub>) a 25 °C.

En las mezclas SDS/C<sub>12</sub>E<sub>j</sub> la capacidad espumante decrece cuando j aumenta. El mejor resultado se obtiene en SDS/C<sub>12</sub>E<sub>4</sub> que presenta un efecto de sinergia, mientras que con SDS/C<sub>12</sub>E<sub>13</sub> es el menos espumante .

Para la mezcla binaria SDS/C<sub>12</sub>E<sub>6</sub> en la proporción de 80% -20% el poder espumante inicial y su estabilidad resulta importante comparado con otra proporción.

## 5. ANALISIS DE RESULTADOS

Al hacer el análisis gráfico podemos inferir que:

- Los tensioactivos iónicos tienden a ser mejores agentes espumantes que los no-iónicos.
- La longitud de la cadena hidrocarbonada de los alquilsulfatos está en relación directa con el poder espumante.
- El poder espumante de los agentes no-iónicos, disminuye con el aumento del número de moles de óxido de etileno
- En el caso de mezclas binarias, la sinergia en la disminución de la tensión superficial se observa con el tensioactivo C<sub>12</sub>E<sub>6</sub> y va disminuyendo con el aumento del grado de etoxilación.

## 6. CONCLUSIONES

La forma en que se aborda el estudio de los agentes espumantes nos permite una mejor comprensión del tema en cuestión. Así, a partir de experiencias sencillas con productos de la vida cotidiana, pero con fundamentación científica, se demuestra un hecho o propiedad espumante y, posteriormente se continúa con una práctica más formal y estructurada donde obtienen resultados interesantes de sustancias solas o de mezclas de ellas donde se observan efectos sinérgicos de reducción de tensión superficial o de capacidad espumante.

Partiendo de estas tendencias observadas de efecto sinérgico es posible continuar investigando con otras combinaciones de sustancias espumantes, con un enfoque más dirigido a tener resultados que respondan a necesidades precisas de aplicación industrial.

## REFERENCIAS

1. J. Falbre, *Surfactants in Consumer Products: Theory, Technology and Applications*, Springer, Berlín (1986).
2. A.M. Schwartz, J.W. Perry, *Surface active agents*, Interscience Publisher.
3. S. Ross, *Kirk-Othmer. Encyclopedia of Chemical Technology*, 3ª Ed., Vol. 11, 127-145, Ed. John Wiley, New York (1980).
4. D.A. Edward y D.T. Wasan, *Foams, Surfactant Science Series*, Vol. 57, 189-216, Ed. Marcel Dekker, New York (1996).
5. D. Myers, *Surfactant Science and Technology*, VCH, Weinheim (1988).
6. A.J. Wilson, *Foams. Surfactants Science Serie*, Vol. 57, 243-274, Ed. Marcel Dekker, New York (1996).
7. G. C. Frye y J. C. Berg, *J. Coll. Interf. Sci.*, **1989**, Vol. 127, 222-226.
8. J.A. Chamizo, *Educación Química*, Abril **1995**, 118-124.

9. L.R. Summerlin, C. Borgford and J. Ealy, *Chemical Demonstrations*, Vol. 2, 2<sup>a</sup> Ed. (1988).
10. *J. Chem. Educ.*, **1999**, Vol.76.
11. B. Shakhashiri, *Chemical demonstrations. A handbook for teachers of Chemistry*, The University of Wisconsin Press, Vol. 2.
12. B. Shakhashiri. *Chemical demonstrations. A handbook for teachers of Chemistry*, The University of Wisconsin Press, Vol. 3.
13. Ross & Miles, *ASTM Standar Method D-1173-53*, Philadelphie (1970).
14. J.P. Canselier y T. Unda Carbott, *Poder espumante de los alkil sulfatos*, XXX Jornadas Anuales del Comité Español de la Detergencia. Barcelona 29-31 Marzo 2000.
15. T. Unda Carbott, J.P. Canselier, *Pouvoir moussant de mélanges de dodécylsulfate de sodium et de dodécanols polyéthoxylés en solution aqueuse*. Cahiers de Formulation, Vol. 9, EDP Sciences, Paris (2002).

## **CRISTALES LÍQUIDOS: OTRO ESTADO DE LA MATERIA**

**Miguel Ramos Riesco, María Victoria García Pérez, María Isabel Redondo Yélamos, Francisco J. Martínez Casado, José A. Rodríguez Cheda**  
Departamento de Química Física, Universidad Complutense de Madrid  
28040-Madrid. iredondo@quim.ucm.es.

*Además de los estados de la materia tradicionales existen sustancias que en condiciones adecuadas, presentan un estado intermedio entre el líquido y el sólido denominados cristales líquidos. Se presentan de forma sencilla las características principales de este estado de la materia, examinando la estructura interna de las moléculas en esta fase junto con ejemplos de sustancias que forman estas estructuras. Además se analizan las características propias de este estado, que permite la utilización de cristales líquidos en múltiples aplicaciones tecnológicas como pantallas de ordenadores, relojes digitales, termómetros ó ventanas inteligentes, entre otras.*

### **1. INTRODUCCIÓN**

Los estados de la materia tradicionales son, como es bien sabido, sólido, líquido y gas. En un sólido las partículas están posicionadas en la red definiendo un orden característico, lo que hace que en este estado, las sustancias tengan forma y volumen fijos. En un líquido las partículas no poseen una ordenación fija sino que están dispuestas al azar y, por tanto, los líquidos no poseen forma propia sino que adoptan la del recipiente que los contiene. En estado gaseoso tampoco existe orden interno de las partículas y lo característico de su estructura es el movimiento desordenado de las mismas. Además de estos estados tradicionales, existen sustancias que pueden adoptar otro nuevo estado denominado de cristal líquido.

### **2. ¿QUÉ SON LOS CRISTALES LÍQUIDOS?**

Los cristales líquidos son materiales que, como su nombre indica, poseen propiedades intermedias: pueden fluir como un líquido pero también poseen orden orientacional de corto alcance como los sólidos cristalinos.

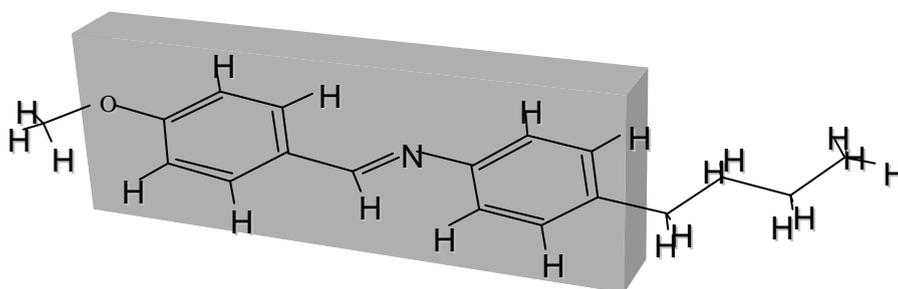
### **3. ¿QUÉ ES EL ORDEN ORIENTACIONAL?**

Las sustancias que forman cristales líquidos están formadas por moléculas con una forma alargada (como las patatas fritas o un balón de rugby) o de disco (como una moneda de euro) de esta manera pueden tener sus centros de gravedad posicionados al azar (desorden posicional) pero mantener su orientación en una dirección determinada (orden orientacional) y es esto lo que crea la estructura ordenada de un cristal líquido.

La estructura de un sólido sería semejante a la de un aula llena con alumnos colocados en su pupitre (orden posicional) y mirando hacia la pizarra (orden orientacional), mientras que la de un cristal líquido correspondería a estos mismos alumnos de pie en el aula en cualquier sitio de la misma (desorden posicional) pero mirando todos al profesor (orden orientacional).

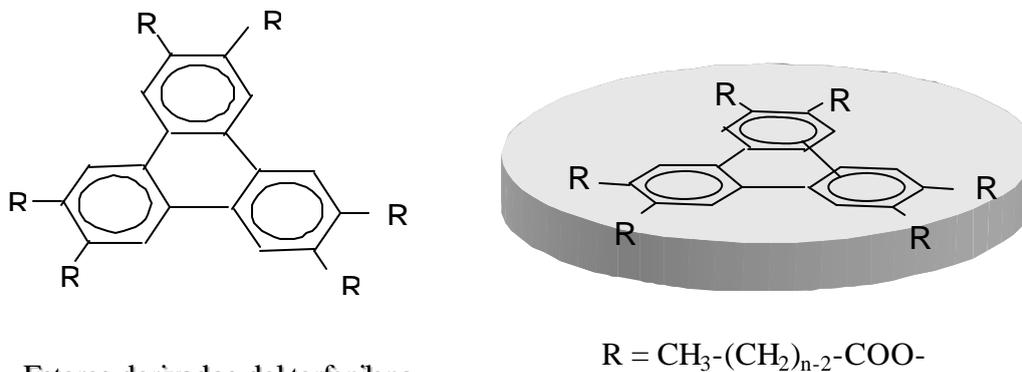
#### 4. EJEMPLOS DE SUSTANCIAS QUE FORMAN CRISTALES LÍQUIDOS:

Algunas moléculas que forman cristales líquidos se muestran en las figuras 1 y 2.



N-4-(butilfenil)-N-[(1E)-(4-metoxifenil)metiliden] amina

Figura 1. Moléculas en forma alargada: cristales líquidos calamíticos



Esteres derivados del terfenileno



Figura 2. Moléculas en forma de disco: cristales líquidos discóticos.

Al calentar una sustancia de estas características (dos órdenes) pueden ocurrir, como se muestra en la figura 3, tres procesos diferentes al llegar una cierta temperatura:

1. Pierde simultáneamente tanto el orden orientacional como el posicional, pasando a un líquido ordinario (isotrópico), a la temperatura de fusión.
2. pierde totalmente el orden orientacional, conservando todo el posicional, pasando a una mesofase llamada cristal plástico (transición sólido - cristal plástico), pasando posteriormente a líquido isotrópico (temperatura de fusión).
3. pierde total o parcialmente el orden posicional, pero conservando totalmente el orientacional (temperatura de fusión) y se obtiene una mesofase de cristal líquido, pasando posteriormente a líquido isotrópico (temperatura de isotropización o "clearing").

Por eso, la condición de poseer los dos órdenes es una condición necesaria, pero no suficiente.

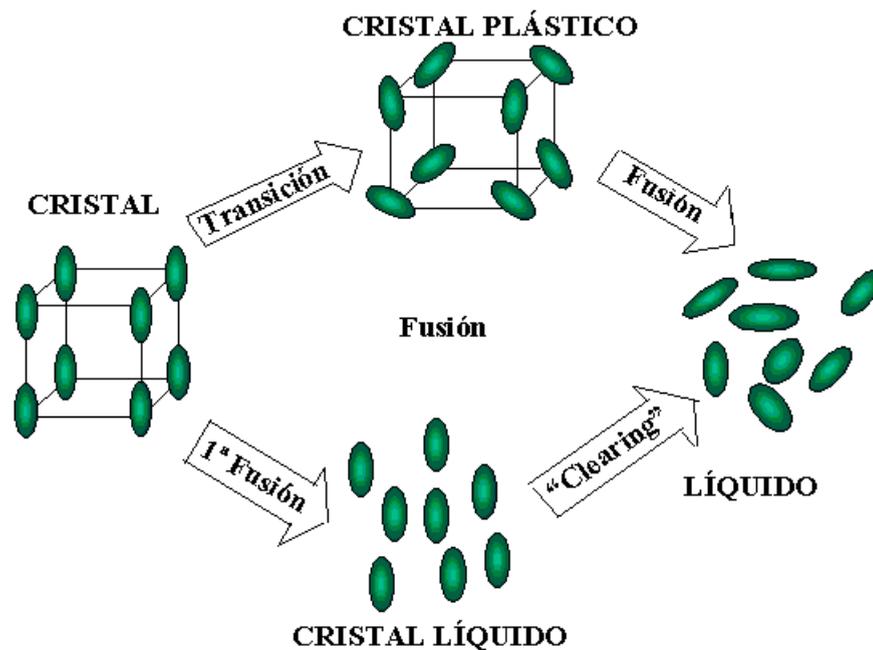


Figura 3. Variación de los órdenes orientacionales y posicionales en los cristales líquidos.

Desde hace relativamente poco tiempo (1,2) se ha descubierto que el  $N_2$  sólido presenta dos fases ( $\alpha$  y  $\beta$ ), de las cuales la fase  $\alpha$  es una fase cristalina (con orden posicional y orientacional), mientras que la  $\beta$ , es una mesofase de cristal plástico (con

orden posicional y desorden orientacional). La fase  $\beta$  es la estable a temperaturas más altas y desde la que el  $N_2$  funde al estado líquido.

Además, es obvio que una misma sustancia no puede presentar los dos comportamientos mesomórficos de cristal plástico y de cristal líquido, al ser ambos excluyentes.

## 5. CLASIFICACIÓN DE LOS CRISTALES LÍQUIDOS

Los Cristales líquidos se pueden clasificar según diferentes criterios (no excluyentes):

- Según la geometría de sus moléculas:
  - calamíticos,
  - discóticos.
- Según el modo de aparición:
  - termotrópicos,
  - liotrópicos.
- según el tipo de enlace:
  - moleculares,
  - iónicos.

En función de la causa de aparición, se clasifican en:

a) **TERMOTRÓPICOS**: aparecen en función de la temperatura como una auténtica fase entre la fase sólida y la fase líquida isotropa. A su vez pueden ser:

- Enantiotrópicos: aparecen tanto al calentar como al enfriar.
- Monotrópicos: aparecen tan solo al enfriar.

b) **LIOTRÓPICOS**: el disolvente juega el papel de la temperatura en los cristales líquidos termotrópicos. Aparecen al aumentar la concentración de soluto, generalmente un surfactante.

Según su estructuras, los cristales líquidos termotrópicos se clasifican en: nemáticos, esmécticos y colestéricos.

En los cristales líquidos nemáticos, las moléculas están orientadas en una dirección caracterizada por un vector director, como se indica en la figura 4.

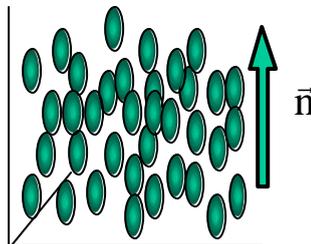


Figura 4. Orientación molecular en cristales líquidos nemáticos.

En los cristales líquidos esmécticos se dan varias estructuras (ver figura 5), con moléculas ordenadas en capas, con el vector director perpendicular a ellas (esméticos A, B y E), o formando un ángulo con ellas, llamado ángulo de inclinación o “*tilt*” (esméticos C, F, G, H e I).

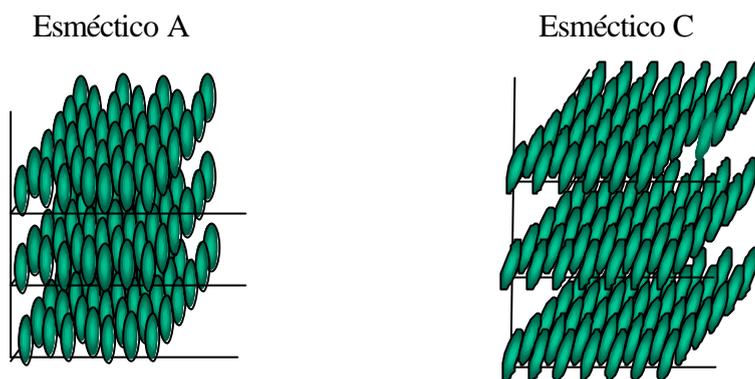


Figura 5. Orientación molecular en cristales líquidos esmécticos.

Los cristales líquidos colestéricos poseen una única estructura (ver figura 6), caracterizada por un orden orientacional en planos de espesor igual al diámetro de la sección molecular, con un giro progresivo de unos a otros; el “paso de hélice” (*pitch*) es la distancia entre planos con dirección paralela. Dentro de cada plano hay desorden posicional.

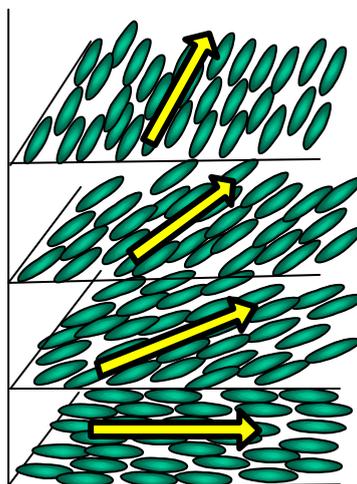


Figura 6. Orientación molecular en cristales líquidos colestéricos.

## 5. LOS CRISTALES LÍQUIDOS EN LA VIDA DIARIA: APLICACIONES TECNOLÓGICAS

El uso más común de los cristales líquidos es en las pantallas de ordenadores, calculadoras, relojes, etc. Sin embargo, existen otros muchos productos basados en cristales líquidos que son menos conocidos. Desde cosméticos hasta termómetros, tejidos resistentes al fuego o a las balas, o en aplicaciones más avanzadas que incluyen óptica no lineal, fotónica y electrónica molecular (3). Algunos termómetros usan cristales líquidos colestéricos para medir la temperatura. Las moléculas constituyentes, largas y asimétricas, se ordenan en capas cuyos vectores directores definen una hélice. Cuando la luz incide en estas estructuras helicoidales, parte de ella se refleja. La mayor reflexión se produce cuando la longitud de onda de la luz incidente es un múltiplo del paso de hélice (*pitch*). Puesto que el *pitch* del cristal líquido colestérico cambia con la temperatura, también cambia el color de la sustancia. En un termómetro se insertan cristales líquidos diferentes debajo de cada número de forma que cada uno se ilumina a diferente temperatura. El uso de los cristales líquidos en las pantallas se basa en la propiedad de estas sustancias para provocar el giro del plano de la luz polarizada incidente sobre las mismas; de esta forma si entre dos polarizadores cruzados introducimos un cristal líquido con la orientación adecuada, la luz que atraviesa el primer polarizador es girada por el cristal líquido y puede atravesar el segundo observándose un máximo de intensidad. En presencia de un campo eléctrico, sin embargo, las moléculas de cristal líquido se orientan en la dirección del campo y ya no pueden provocar el giro del plano de polarización de la luz incidente por lo que ésta no podría atravesar el segundo polarizador y el resultado sería ausencia de luz.

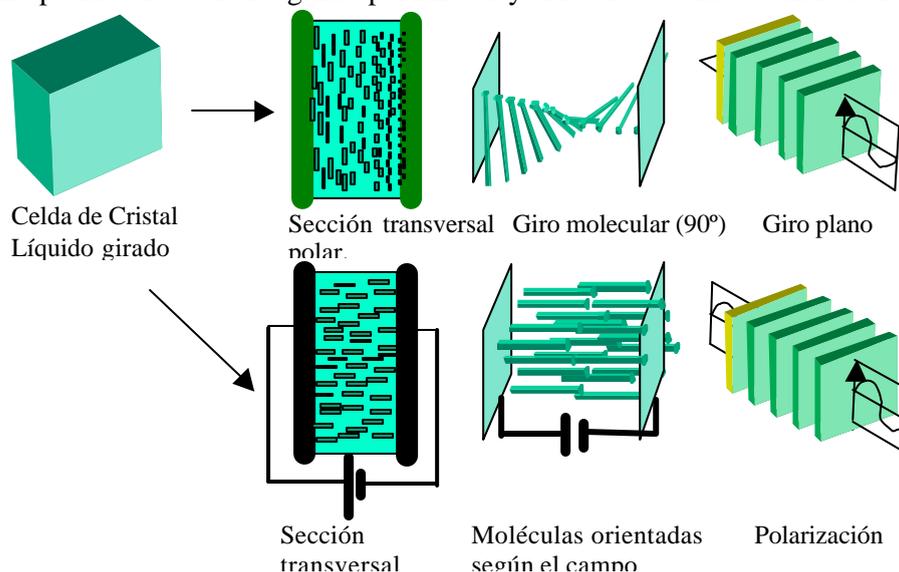


Figura 7. Uso de cristales líquidos en pantallas.

Esto constituye el componente fundamental (la célula de cristal líquido) de las pantallas de cristal líquido cuyo esquema completo se muestra en la figura 8. Cada número está formado por una serie de segmentos que aparecen negros cuando se conecta un campo eléctrico. En esa situación las moléculas de cristal líquido se orientan en la dirección del campo y no pueden provocar el giro del plano de polarización de la luz; por eso la luz que incide en la pantalla no puede ser reflejada por el espejo (al estar los polares cruzados) y ese tramo se observa de color negro.

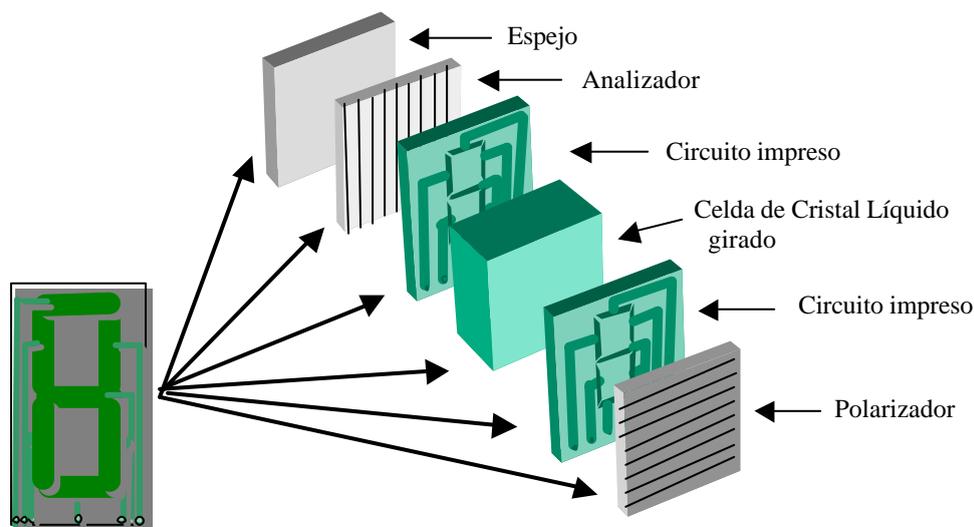


Figura 8. Esquema de célula de cristal líquido.

## REFERENCIAS

1. A. Mulder *et al.*, *J. Chem. Phys.*, **1996**, Vol. 105, 3235.
2. A. Scott, *Phys. Rep.*, **1976**, Vol. 27, 89.
3. M. Sawamura, K. Kawai, Y. Matsuo, K. Kanie, T. Kato y E. Nakamura, *Nature*, **2002**, Vol. 419, 702.

## BIBLIOGRAFÍA

1. D. Demus, J. Goodby, G.W. Gray, H.W. Spiess y V. Vill, *Handbook of Liquid Crystals*, Ed. Wiley-VCH, Weinheim (1998).
2. G.W. Gray, J. Goodby, *Smectic Liquid Crystals*, Ed. Leonard Hill, Glasgow (1984).
3. D. Demus y L. Richter, *Textures of Liquid Crystals*, Ed. Verlag Chemie, Weinheim (1978).
4. G.H. Brown, *J. Chem. Educ.*, **1983**, Vol. 60 (10), 900.

5. Varios autores, *Physics Today*, 1982, Vol. 35 (5), Monográfico sobre cristales líquidos.

## METALES TÓXICOS PESADOS Y SUS EFECTOS SOBRE LA SALUD

*José Ignacio Ruiz de Larramendi*

Departamento de Química Inorgánica, Universidad del País Vasco

Apartado 450, 01080-Vitoria-Gasteiz. qipruloj@vf.ehu.es

*En la actualidad, el uso de los elementos pesados se ha incrementado de forma alarmante, lo cual está asociado con el crecimiento de la población y con el modelo de desarrollo tecnológico elegido. Esta utilización excesiva ha provocado un aumento en la concentración de fondo para casi todos estos elementos y ha roto, así, sus ciclos biogeoquímicos naturales. A continuación se estudian los elementos Cd, Hg y Pb en cuanto a su comportamiento químico y a sus efectos tóxicos para el ser humano y para los demás seres vivos.*

### 1. INTRODUCCIÓN

Todos los seres vivos están expuestos a los elementos presentes en la ecosfera (litosfera+atmósfera+hidrosfera+biosfera) cuando respiran o se alimentan y mantienen una continua y compleja interacción con el entorno inorgánico en el que se encuentran insertados y en el que desarrollan todos sus procesos vitales. Algunos de estos elementos son útiles y esenciales para sus procesos vitales, pero otros son muy tóxicos. La mayor parte de los elementos tóxicos que se encuentran en la ecosfera están presentes en cantidades muy pequeñas, que no se pueden eliminar y que, por tanto, penetran a diario en los organismos de los seres vivos. A estas trazas inevitables se les denomina *nivel de fondo* (1).

Los elementos inorgánicos que están presentes en el organismo en cantidades medibles son menos de cuarenta y se ha comprobado que muchos de ellos no son ni útiles ni perjudiciales. Se denominan *elementos esenciales* sólo a aquéllos que cumplen las siguientes condiciones: 1. Deben estar presentes en concentración razonablemente constante en los tejidos sanos de todos los animales; 2. Su deficiencia en las dietas, por lo demás adecuadas, debe tener como resultado el desarrollo de anormalidades estructurales o fisiológicas; 3. La adición del elemento a las dietas selectivamente deficientes debe evitar el desarrollo de las anormalidades o hacerlas desaparecer; 4. Las anormalidades producidas por la deficiencia deben ir acompañadas de cambios bioquímicos específicos que cesan al desaparecer la deficiencia (2,3). Todos los elementos que cumplen estas condiciones se recogen en la tabla 1.

Para una persona sana los *constituyentes mayoritarios* que se deben aportar en la dieta son un mínimo de 100 mg/día. Los *elementos traza* deben estar en la dieta en cantidades menores que 100 mg/día. El grupo de los denominados *nuevos elementos traza* se ha demostrado que tienen alguna función biológica en plantas o en animales de experimentación, pero no se conoce que participen en alguna función biológica en

las personas (2,4). De los cuatro *elementos tóxicos*, la plata presenta el menor grado de toxicidad.

Tabla 1. *Elementos inorgánicos esenciales.*

- Constituyentes mayoritarios: Ca, P, Mg, Na, K, Cl, S.
- Elementos traza: Fe, F, Zn, Se, Mn, I, Cu, Mo, Cr.
- Nuevos elementos traza: Si, Ni, Co, Sn, As, V, B.
- Elementos tóxicos: Cd, Pb, Hg, Ag

En general, la cantidad de átomos metálicos presentes en un sistema biológico determinado es realmente ínfima. Así, es muy común encontrar 1 ó 2 átomos metálicos asociados a  $10^6$  o  $10^7$  átomos constituyentes del resto orgánico de un enzima. De los estudios realizados se puede deducir que el manejo de los elementos por parte de los seres vivos trata de no hacerse dependiente de los sistemas a los que tiene difícil acceso. Es decir, si dos elementos resultan actos para realizar una determinada función, los seres vivos elegirán en primer lugar, al más abundante.

También debemos remarcar el hecho de que, debido a la creciente industrialización de nuestro mundo, se viene produciendo un aumento continuo de la contaminación metálica, de manera tal, que muchos elementos pesados empiezan a adquirir artificialmente una concentración elevada y pueden llegar a competir con los elementos esenciales. De todas maneras, es imaginable que, a través de los procesos evolutivos y de adaptación de los seres vivos al entorno, muchos elementos han debido seguir, de alguna manera, la secuencia (5):

Elemento tóxico → Impureza tolerable → Elemento útil → Elemento esencial

antes de llegar a constituirse en esenciales para los sistemas biológicos, por lo que no es descabellado suponer que a través de este camino de adaptación otros nuevos elementos lleguen a convertirse en esenciales. Es probable que, en los casos del vanadio, el cromo, el níquel y quizás también cadmio y estaño, estemos realmente ya en presencia de ejemplos de este tipo. Por otro lado, conviene tener presente que varios de los elementos reconocidos como tóxicos están situados en el sistema periódico muy cerca de otros que son esenciales, por lo que el posible modo de acción de estos elementos tóxicos se inicia en algún tipo de competencia con los elementos esenciales que son químicamente similares a ellos, por ejemplo Zn/Cd,Hg; Ca/Pb,Cd; K/Tl; Mg/Be,Al; P/As; S/Se. En la figura 1 se representa la correspondencia entre dosis de un elemento y la respuesta fisiológica.

La toxicidad de los *constituyentes mayoritarios* es mínima en todos los casos y la toxicidad de algunos de los *elementos traza* puede ser severa si se consumen en cantidades suficientemente grandes o por periodos prolongados.

En este trabajo se van a estudiar los elementos tóxicos pesados cadmio, mercurio y plomo ya que presentan el mayor peligro ambiental.

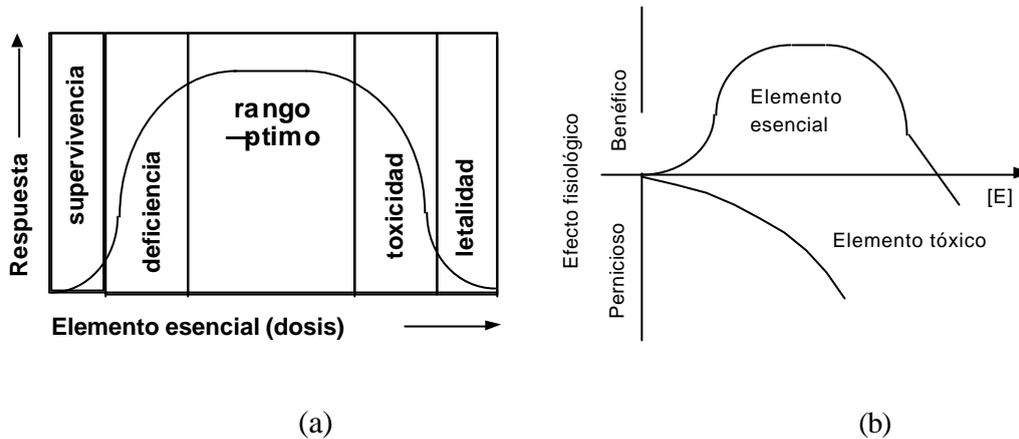
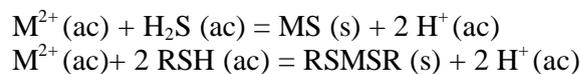


Figura 1. Efecto de la dosis de una elemento esencial sobre la respuesta fisiológica (a) y cComparación del efecto de la dosis de un elemento esencia y de un elemento tóxico sobre la respuesta fisiológica (b).

## 2. LA TOXICIDAD DE LOS METALES PESADOS

Aunque asociamos a los metales pesados con la contaminación del agua y de los alimentos, en realidad son transportados en su mayor parte de un lugar a otro a través del aire, como bases o especies absorbidas en las partículas de las materias suspendidas. Los metales pesados Cd, Hg y Pb, como tales elementos, no son especialmente tóxicos salvo el vapor de mercurio, sin embargo sí lo son cuando se encuentran como cationes Cd (II), Hg (II), Pb (II), ya que se caracterizan por formar sulfuros insolubles y por analogía deben manifestar una fuerte afinidad por los grupos sulfhidrilo, -SH, que están presentes en los enzimas que controlan reacciones metabólicas críticas en el ser humano (4). Las reacciones que se producen con las unidades -SH son análogas a las que tienen lugar con el H<sub>2</sub>S:



Otro mecanismo de toxicidad puede ser el desplazamiento de un elemento esencial de una biomolécula, como ocurre con el Zn (II) que puede ser desplazado por el Cd (II) y por el Pb (II). Además de este tipo de competencias es importante conocer las rutas de absorción y de incorporación de los metales tóxicos a los organismos para así poder bloquearlas.

### 3. CADMIO

El cadmio, Cd, es un elemento del grupo 12 de la tabla periódica al que también pertenecen el zinc y el mercurio. Su comportamiento químico se parece más al de los elementos esenciales Zn y Ca que al del Hg y de alguna manera, estas analogías orientan sobre sus principales efectos tóxicos. En la tabla 2 se recogen algunos datos sobre estos elementos.

Tabla 2. Datos sobre algunas propiedades de estos metales

Elemento	Zn	Cd	Hg	Ca
Punto de fusión (°C)	419,5	321	-38,4	838
Punto de ebullición (°C)	906	767	357	1440
Estado de oxidación	+ 2	+ 2	+ 1; + 2	+ 2
Radio iónico (pm)	83	103	127(+1); 112(+2)	106
Radio covalente (pm)	125	141	144	-
Electroneg. (Pauling)	1,65	1,69	2,00	1,00
Configuración electrón.	[Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup>	[Kr]4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup>	[Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup>	[Ar]4s <sup>2</sup>

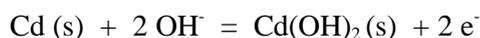
La solubilidad de las sales de cadmio en agua es muy variable, ya que los haluros, el sulfato y el nitrato son relativamente solubles mientras que el óxido, el hidróxido y el carbonato son prácticamente insolubles. El cadmio tiene una presión de vapor elevada, por lo que en los procesos de obtención y refinado, se libera óxido de cadmio, que constituye un peligro potencial para la salud.

El cadmio está presente como un constituyente menor pero inevitable en casi todos los concentrados de zinc (de 0,1 a 0,3 % de cadmio). En los concentrados de plomo y cobre el cadmio se encuentra en concentraciones mucho más bajas.

Los procesos naturales en los que se libera cadmio son insignificantes como fuente de contaminación, en comparación con el que procede de actividades de las personas. En la actualidad, las principales fuentes por las que se libera cadmio al ambiente son los usos de este elemento. Se utiliza en la protección electrolítica del hierro, en la fabricación de células fotoeléctricas, en baterías eléctricas (Ni/Cd) y en aleaciones de baja temperatura de fusión; sus derivados se utilizan en pigmentos (CdS amarillo para pinturas de calidad), como estabilizadores de cloruro de polivinilo (PVC), en acumuladores, en reactores nucleares, en joyería y otros.

Como se indica, una aplicación importante del cadmio es como electrodo en baterías recargables Ni/Cd utilizadas en calculadoras y en aparatos similares (3). Cuando se extrae corriente de la batería, el electrodo sólido de cadmio metálico se disuelve parcialmente para formar hidróxido de cadmio insoluble, gracias a la

incorporación de iones hidróxido del medio en el cual se sumerge el electrodo. Cuando la batería es recargada, el hidróxido sólido, que está depositado sobre el electrodo metálico, se convierte otra vez en cadmio metal, según el proceso:



Cada batería contiene unos 5 g de cadmio por lo que, cuando finaliza su vida práctica, se debe recuperar como mínimo el cadmio y nunca tirar la batería a un vertedero.

Las concentraciones de este elemento en el agua potable son menores a 5 µg/l mientras que en el agua de mar, oscilan entre 0,04 y 0,03 µg/l (el Cd (II) se deposita en los sedimentos en función del pH). En los suelos, generalmente, las concentraciones de este elemento son inferiores a 1 mg/kg oscilando normalmente entre 0,01 y 0,5 mg/kg. En los suelos ácidos, el cadmio se intercambia fácilmente, lo que lo hace disponible para las plantas que pueden acumularlo. Así por ejemplo en Japón hay regiones en las que se han medido en suelos de plantaciones de arroz entre 1 y 69 mg/kg. Los valores promedio de este metal en el aire son del orden de 0,002 µg/m<sup>3</sup>. Es de interés indicar que los fumadores presentan, tanto en el riñón, como en sangre, niveles de Cd (II) marcadamente más elevados que los no fumadores e, incluso, el humo del cigarrillo es una de las fuentes de absorción de cadmio más efectivas.

El cadmio es un tóxico agudo, la dosis letal es aproximadamente de un gramo. Las personas están protegidas contra la exposición crónica a niveles bajos de cadmio por las metalotioneínas, que son ricas en azufre y tiene una función inusual cual es la de regular el metabolismo del zinc. Los grupos sulfhidrilo de esta proteína pueden complejar a casi todos los cationes Cd<sup>2+</sup> ingeridos y ser eliminados por la orina. Si la cantidad de metal acumulado en el organismo es superior al que se puede eliminar con la ayuda de esta proteína, el exceso se acumula en el hígado y en los riñones, que en último término conduce a enfermedades de riñón. Aunque el cadmio no se biomagnifica, sí que es un tóxico acumulativo, ya que si no se elimina rápidamente por el metabolismo, su tiempo de vida en el organismo puede ser de varias décadas. Por otro lado, experiencias recientes con animales han demostrado que el cadmio posee acción carcinogénica.

Los efectos bioquímicos del cadmio son muy variados, actúa como inhibidor en numerosos procesos celulares y asimismo afecta notablemente el metabolismo de otros elementos esenciales, aparte del zinc (Cu, Fe, Se, Ca). Cuando estos elementos están en defecto, la toxicidad del cadmio resulta potenciada, cuando están en exceso, la toxicidad se ve disminuida. Por su semejanza química con el catión Ca<sup>2+</sup>, el Cd<sup>2+</sup> se incorpora a los tejidos óseos (desplazando al catión calcio) originando en los mismos gran fragilidad y deformaciones importantes y dolorosas (3,5).

#### 4. MERCURIO

El mercurio se puede encontrar tanto en estado elemental ( $\text{Hg}^0$ ) como en iones ( $^+\text{Hg}$ - $\text{Hg}^+$  y  $\text{Hg}^{2+}$ ) o formando parte de compuestos orgánicos e inorgánicos. El mercurio no es un elemento esencial para la vida, sin embargo, ha estado siempre presente en la naturaleza en concentraciones a la que los seres vivos están adaptados. Sus fuentes naturales son los volcanes, la desgasificación de la corteza terrestre, la erosión y la disolución de los minerales de las rocas debido a la penetración del agua a través de estas por tiempo prolongado. Las principales fuentes, generadas por las personas son, la minería, el uso industrial y el agrícola. La primera constituye el 50% y el resto proviene de usos industriales (termómetros, electrodos de células cloro-álcali, lámparas de arco, extracción de metales, fabricación de plaguicidas y otros), agrícolas (aplicación de fungicidas) y otras menores (uso en laboratorios químicos, en odontología, uso militar -azida de mercurio- y el empleo de combustibles fósiles). Los compuestos de mercurio que se fabrican para fines agrícolas pasan al ambiente cuando se aplican como fungicidas sobre semillas, raíces, bulbos e incluso sobre la misma planta. Algunos compuestos importantes son: el  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$  que se emplea como fungicida; el  $\text{HgCl}_2$  que es bactericida y fungicida, se utiliza en la preservación de la madera; el  $\text{HgO}$  que se emplea en la fabricación de ánodos para baterías eléctricas, como pigmento para pinturas marinas y para el vidriado decorativo de porcelanas y el  $\text{HgS}$  empleado en procesos de coloreado de plástico y papel(3).

El mercurio es tóxico en cualquiera de sus formas (6) y además, al ser sumamente móvil, la toxicidad de este elemento es un problema mundial. Aún en su forma elemental es muy tóxico y produce enfermedades crónicas que afectan ante todo a las personas que están en contacto directo con él. En su forma oxidada habitual, como  $\text{Hg}^{2+}$ , el mercurio es un agente tóxico muy agudo, fundamentalmente porque a pH fisiológico es muy soluble y no es precipitado por ninguno de los aniones mayoritariamente presentes en los fluidos biológicos. Se admite que un gramo de mercurio o de cualquiera de sus sales es letal (1,5,6). Pero más tóxico aun resulta su derivado metilado, el catión  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ .

El *ciclo local del mercurio* se basa en la circulación hipotética de compuestos de dimetilmercurio. En éste, el mercurio es liberado principalmente por las actividades de las personas. Cuando llega a los ecosistemas acuáticos y en presencia de oxígeno casi todas las formas de mercurio, incluso el  $\text{Hg}^0$ , se pueden ionizar, oxidar y transformar en  $\text{Hg}^{2+}$ . Una vez ionizado el mercurio forma una gran variedad de compuestos: (a) el  $\text{Hg}^{2+}$  se reduce a  $\text{Hg}^0$ , con la participación de bacterias del género de las pseudomonas en condiciones anaerobias, (b) en sedimentos o suspensiones particuladas en lagos y océanos el  $\text{Hg}^{2+}$  en presencia de bacterias alquilantes, se transforma en  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$  y  $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ . Al ser poco soluble en agua y volátil, el  $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$  sube a la atmósfera, donde parte es descompuesto fotoquímicamente y el resto baja con la lluvia y si ésta es ácida; el  $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$  se convierte en  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$  y así se completa el ciclo. La especial toxicidad del  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$  se puede explicar en base a su carácter

ambivalente lipofílico/ hidrofílico, lo que le permite penetrar con mucha facilidad a través de las membranas y ser ávidamente acumulado por los organismos acuáticos y, a través de ellos, puede llegar a la dieta humana.

Las intoxicaciones por mercurio generan entumecimiento en varias partes del cuerpo, pérdida de capacidades sensoriales y dificultad para mover las manos. En estados más avanzados se pierde la capacidad de coordinación, provocando sordera, afonía y, finalmente, convulsiones, parálisis y la muerte.

## 5. PLOMO

Elemento del grupo 14 ( $[\text{Xe}]4f^{14}5d^{10}6s^26p^2$ ) presenta los estados de oxidación 0, II y IV, siendo el II el más frecuente y en compuestos orgánicos también el IV. Su bajo punto de fusión, 327,40 °C, permite trabajarlo fácilmente y darle forma lo que ha facilitado su uso. Se utiliza en la fabricación de baterías eléctricas, de aleaciones de baja temperatura de fusión (municiones para cazar). Algunos compuestos importantes son: PbO utilizado en la fabricación de vidrio, en baterías eléctricas y esmaltado en cerámica; PbO<sub>2</sub> en la fabricación de cerillas y en pirotecnia; Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub> como pigmento en pinturas antioxidantes; PbCrO<sub>4</sub> como pigmento rojo para pinturas; y la azida Pb(N<sub>3</sub>)<sub>2</sub> como fulminante de percusión.

De los usos citados, destacaremos dos: (a) como munición (balas de plomo) que utilizan los cazadores. Como consecuencia de la caza, muchos patos y gansos han sido dañados o muertos a causa del envenenamiento crónico por plomo, después de ingerir las balas, las cuales se disuelven en el organismo. Cuando las aves depredadoras cazan a las aves acuáticas que han sido disparadas por los cazadores o que han comido los perdigones, se vuelven víctimas del efecto tóxico del plomo. (b) El plomo no reacciona con ácidos diluïdos. De hecho, es estable como electrodo en los acumuladores de plomo, incluso aunque esté en contacto con ácido sulfúrico concentrado. Sin embargo, algo del plomo de la soldadura que se utilizó habitualmente en el pasado para sellar envases de lata, puede disolverse en el ácido diluido de los zumos de fruta (3,4) y de otros alimentos ácidos en presencia de aire, es decir, una vez el envase se ha abierto, ya que el plomo es oxidado por el oxígeno en medios ácidos, según el proceso:



El Pb<sup>2+</sup> producido por esta reacción contamina el contenido del envase.

El aire de las grandes ciudades ha sido contaminado por la combustión de gasolina conteniendo tetraetilplomo, como antidetonante. La creciente eliminación de este aditivo en muchos países, está mejorando la calidad del aire en núcleos urbanos y en zonas próximas a las carreteras. Aparte de este plomo ambiental, la mayor fuente de incorporación sigue siendo la dieta que, afortunadamente, no permite una absorción muy intensa debido a que se fija en los huesos por la formación de compuestos insolubles, tales como el fosfato, Pb<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, o el carbonato básico, Pb<sub>3</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub>.

El Pb(II) interfiere en la síntesis de las ferroporfirinas y también en otros importantes procesos bioquímicos debido a la facilidad que tiene este catión para reaccionar con los grupos –SH.

La toxicidad del plomo se manifiesta mediante un conjunto de síntomas que caracterizan la patología conocida como saturnismo. En su forma aguda origina vómitos, anorexia, trastornos nerviosos y malformaciones renales.

## 6. DESTOXIFICACIÓN

Un tratamiento médico común para tratar el envenenamiento agudo por metales tóxicos es la administración de un compuesto que atrae al metal, incluso más intensamente que el enzima; después, el combinado metal-compuesto se disuelve y se excreta. Un compuesto utilizado para tratar la intoxicación por Hg y por Pb es el 2,3-dimercaptopropanol,  $\text{CH}_2(\text{OH})\text{CH}(\text{SH})\text{CH}_2(\text{SH})$ , también llamado Anti-Lewisita Británica (ALB); sus moléculas contienen dos grupos –SH que quelatan el metal. También es útil para este propósito la sal cálcica del ácido etilendiaminotetracético (EDTA):  $\text{Ca}(\text{CH}_2\text{COO})_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_2\text{COO})_2\text{Ca}$ . Los iones metálicos se complejan gracias a los dos nitrógenos y a los oxígenos cargados, para formar un quelato, el cual se excreta.

El tratamiento de la intoxicación por metales pesados mediante la terapia de quelación es mejor empezarla antes de que ocurra el daño neurológico. Se utiliza sal cálcica en lugar de la sódica, con el fin de que el ión calcio no sea lixiviado del organismo por el EDTA. La toxicidad de los tres metales pesados estudiados depende mucho de la forma química en que esté presente el elemento. Por ejemplo, en relación a la toxicidad del plomo, no es lo mismo que esté como ión divalente  $\text{Pb}^{2+}$  que en forma de moléculas covalentes. Las formas que son casi totalmente insolubles pasan a través del organismo sin hacer mucho daño, sin embargo, las más devastadoras de los metales son aquellas que causan enfermedad o muerte inmediata de manera que la terapia no pueda ejercer sus efectos a tiempo, como ocurre en las que pasan a través de la membrana protectora del cerebro o de la que protege a los fetos cuando se están desarrollando (2,4,5).

## BIBLIOGRAFÍA

1. T.R. Dickson, *Química-enfoque ecológico*, Ed. Limusa, México (2000).
2. J.E. Spallholz, L.M. Boylan, J.A. Driskell, *Nutrition chemistry and biology*, Ed. Springer, Alemania (1999).
3. C. Valenzuela, *Introducción a la Química Inorgánica*, Ed. Mc Graw-Hill, Madrid (1999).
4. C. Baird, *Química Ambiental*, Ed. Reverté, S.A., Barcelona (2001).
5. E.J. Baran, *Química Bioinorgánica*, Ed. McGraw-hill, Madrid (1994).
6. L.D. de Lacerda, W. Salomons, *Mercury from gold and silver mining: A chemical time bomb?*, Ed. Springer, Alemania (1998).

## PILAS DE COMBUSTIBLE DE ÓXIDOS SÓLIDOS-S.O.F.C.

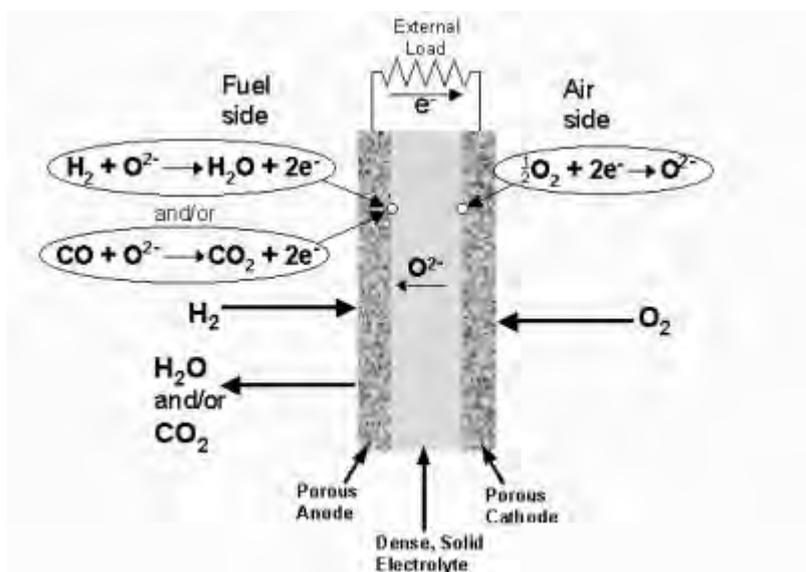
*José Ignacio Ruiz de Larramendi*

Departamento de Química Inorgánica, Universidad del País Vasco  
Apartado 450, 01080-Vitoria–Gasteiz. qipruloj@vf.ehu.es

Desde 1839 se conoce cómo generar electricidad a partir de  $H_2$  y  $O_2$  pero sólo desde hace dos décadas se dispone de la tecnología adecuada para producirla con viabilidad comercial. En la actualidad, con las SOFC (solid-oxide fuel cells) se produce electricidad y calor, reaccionando electroquímicamente  $H_2$  y  $O_2$  y dando como único subproducto, agua. Combinando las SOFC con reformado de gas natural y turbina de gas (sistema híbrido) se alcanzan rendimientos del 70%. En este trabajo se estudian los materiales inorgánicos que forman parte de las SOFC, se relacionan sus propiedades y se discute el funcionamiento del conjunto.

### 1. INTRODUCCIÓN

Las SOFC están formadas por dos electrodos porosos separados por un electrolito que permite el paso de iones óxido pero no de los electrones. Un diagrama del funcionamiento básico de una celda se recoge en la figura 1.



Reacciones globales:  $H_2 + 1/2O_2 = H_2O + DE$  ;  $CO + 1/2O_2 = CO_2 + DE$

Figura 1. Esquema del principio de funcionamiento de una celda SOFC.

El oxígeno del aire (78 %N<sub>2</sub>, 21 %O<sub>2</sub>, 0,9 %Ar y 0,1 % de otros gases) que circula entre la superficie porosa del cátodo a temperaturas superiores a 800 °C, reacciona con los electrones que llegan por el circuito exterior, dando lugar a la formación de los iones óxido. Los iones O<sup>2-</sup>, así formados, se desplazan a través del electrolito en dirección al ánodo. Al llegar al ánodo, a más de 800 °C, entran en contacto con el combustible (H<sub>2</sub> ó una mezcla de H<sub>2</sub> y CO), teniendo lugar las reacciones de oxidación descritas en la figura 1 y en las que se generan los electrones que pasan al circuito exterior. De esta forma se mantiene el balance de cargas y se genera energía de forma continua.

El potencial a circuito abierto, E, de la reacción global, es del orden de un voltio, y se puede calcular teóricamente con la ayuda de la ecuación de Nerst:

$$E = \frac{1.99 \times 10^{-4}}{4} T \log \left[ \frac{P_{O_2}(\text{oxidante})}{P_{O_2}(\text{combustible})} \right]$$

donde T es la temperatura de la celda en K y P<sub>O<sub>2</sub></sub> es la presión parcial del oxígeno.

Cuando pasa corriente a través de la celda, el voltaje viene dado por:

$$V = E - IR - \eta_c - \eta_a$$

siendo I la intensidad de la corriente que pasa a través de la celda, R la resistencia

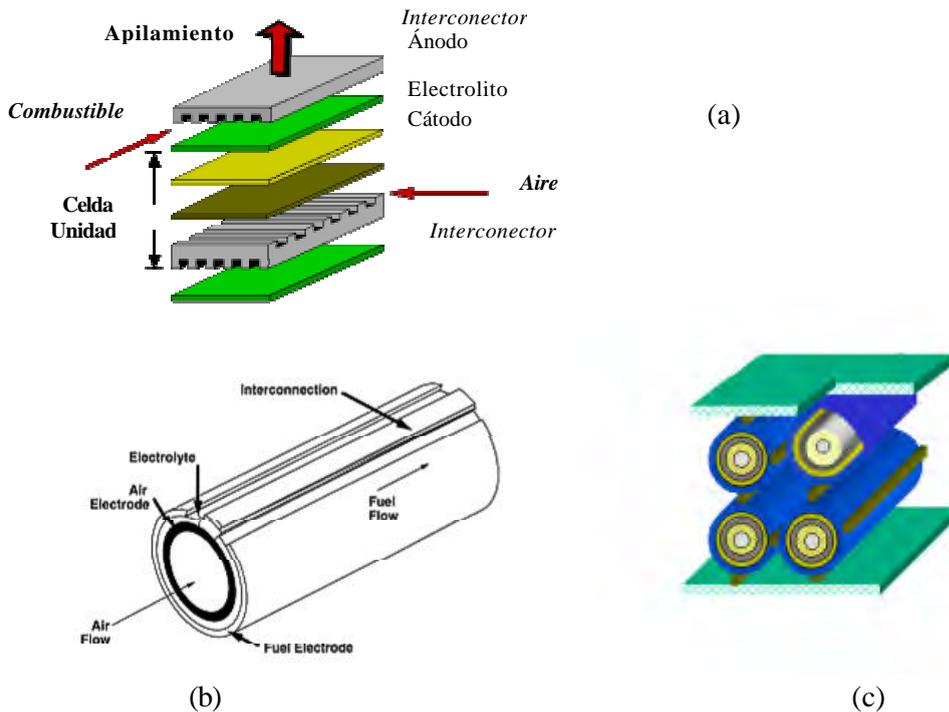


Figura 2. Diseño de SOFC: (a) plana; (b) celda tubular individual; y (c) tubular.

eléctrica de la celda,  $\eta_c$  y  $\eta_a$  el voltaje de polarización asociado al electrodo de aire (cátodo) y al electrodo de combustible (ánodo), respectivamente. Para conseguir que el término  $I \cdot R$  sea lo más pequeño posible, el electrolito y los electrodos se depositan en forma de películas delgadas. Las reacciones electroquímicas se producen en las celdas en un intervalo de 10–20  $\mu\text{m}$ , por lo que mayores espesores de electrodos y electrolito no están justificados desde el punto de vista de la reactividad (1).

En la práctica, las celdas de combustible no operan como unidades discretas sino que se conectan en serie el número necesario para obtener el potencial buscado. Para establecer las conexiones entre celdas se utiliza un material de interconexión denominado “placa bipolar ó “interconector”.

En la actualidad se están desarrollando dos tipos de SOFC, las de geometría tubular y las planas (2) que se representan en la figura 2.

## 2. MATERIALES PARA LAS SOFC

La elección de los materiales es complicada debido a las condiciones que tienen que cumplir: (a) altas temperaturas de trabajo ( $>800\text{ }^\circ\text{C}$ ), (b) el electrolito debe presentar una alta conductividad iónica y despreciable conductividad eléctrica y los electrodos deben presentar una alta actividad electrocatalítica para las reacciones que les afectan en la celda, porosidad para permitir el acceso del oxígeno al electrolito y al combustible y una buena conductividad eléctrica e iónica, (c) los interconectores deben ser buenos conductores eléctricos y presentar una despreciable conductividad iónica, y (d) todos los materiales tienen que presentar un coeficiente de expansión térmica (3) (CET) compatible en el rango de temperaturas que va desde la ambiente a la de trabajo y en este mismo intervalo deben presentar compatibilidad química todos los elementos de la celda y especialmente los que están en contacto (4).

Como una consecuencia de las propiedades que tienen que reunir los materiales, la lista de los potencialmente útiles es reducida. Una característica común de los elementos que componen las SOFC es que se trata de óxidos puros dopados. El dopaje se realiza para conseguir obtener las propiedades de conductividad y CET adecuados. A la hora de elegir los materiales se deben tener también en cuenta los procesos de fabricación y la secuencia de deposición de las capas delgadas de los componentes. Los espesores habituales de los componentes son: 2,2  $\text{m/m}$  el cátodo, 40  $\mu\text{m}$  el electrolito, 100  $\mu\text{m}$  el ánodo y 85  $\mu\text{m}$  el interconector

En la tabla 1 se recoge una relación de los materiales. Para explicar el funcionamiento de las SOFC se utilizarán los materiales más frecuentemente empleados en su construcción.

## 3. ELECTROLITO

Los materiales candidatos además de tener las características indicadas (5), deben:

Tabla 1. Características de las SOFC más comunes.

	Composición química	Abreviatura	Comentario
<b>Electrolito</b>	$(ZrO_2)_{1-x}(Y_2O_3)_x$	YSZ	Clásico
	$(ZrO_2)_{1-x-z}(Y_2O_3)_x(Sc_2O_3)_z$	ScYSZ	Mejor conduct. iónica
<b>Cátodo</b>	$La_{1-x}Sr_xMnO_{3\pm\delta}/YSZ$ composite	LSM/YSZ	Clásico
	$Ln_{1-x}Sr_xMnO_{3\pm\delta}/YSZ$ composite	LnSM/YSZ	Más barato; Ln=lantánido
<b>Anodo</b>	Ni/YSZ cermet	Ni/YSZ	Clásico para hidrógeno
	$Ce_{0.6}Gd_{0.4}O_{1.8}$	CG	Para metano e hidrógeno
<b>Interconector</b>	$(La_{1-y}Sr_y)CrO_{3\pm\delta}$ con dopante x	LSCx	Clásico a alta T
	$Cr_{1-x}Fe_x(Y_2O_3)_y$	Cr-aleación	Para T moderada,
	$Fe_{1-x}Cr_x$	acero ferrítico	Para baja T (<800°C)
<b>Precintos</b>	SiO <sub>2</sub> con aditivos	Vidrio de silicato	Requiere fusión
<b>Habitáculo</b>	$(MgO)_{1-x}(Al_2O_3)_x$	espinela	No conductor
	Metales		Baja T <800°C

- Ser impermeables a los gases, permitiendo la separación del oxidante y del combustible.
- Tener estabilidad bajo condiciones reductoras y oxidante.
- Tener compatibilidad química y mecánica con el ánodo y el cátodo (el valor del CET debe ser análogo al de cada uno de los componentes de la celda)

En las SOFC el ión que se desplaza a través del electrolito es el ión óxido, lo cual implica la necesidad de una ocupación parcial de posiciones energéticamente equivalentes de la red por cuyos huecos pueda trasladarse este ión. Se pueden disponer de materiales con vacantes aniónicas mediante dos estrategias: 1) elegir un óxido con alta concentración de vacantes intrínsecas, propias de la estructura, en este caso es necesario superar la temperatura que evite el orden de dichas vacantes ya que de no hacerlo disminuirá la conductividad; 2) sustituir los “cationes huésped” por otros con distinto estado de oxidación, creando así una concentración de vacantes extrínsecas.

Las estructuras cristalinas que cumplen estas condiciones se pueden agrupar en dos tipos: las relacionadas con la fluorita y las derivadas de la estructura perovskita. Nerst (6) descubrió en 1899 que el óxido ZrO<sub>2</sub> dopado con ytrio tiene estructura tipo fluorita y, a alta temperatura, presenta conducción del ión O<sup>2-</sup>. Wagner (7), en 1943, estableció que su estructura presentaba vacantes de oxígeno. Posteriormente, los estudios realizados demostraron que también cumplían las demás condiciones que son necesarias para poder emplearse como electrolito en las SOFC. Se asume que el desplazamiento de iones está ocasionado por saltos de unas posiciones a otras dentro de la barrera de potencial periódico que existe entre los iones de la red. En la figura 3 se muestra la estructura del óxido ZrO<sub>2</sub> dopado con ytrio.

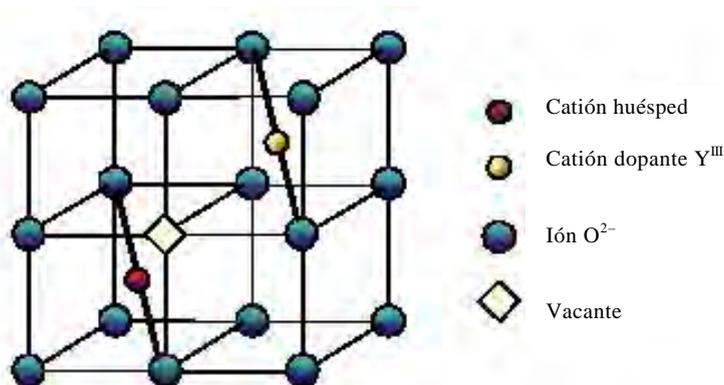


Figura 3. Estructura del  $(ZrO_2)_{1-x}(YO_2)_x$  con alta conductividad iónica, producida al sustituir  $Zr^{IV}$  por  $Y^{III}$  y generar vacantes de oxígeno para compensar el balance de carga.

A 1000 °C la conductividad iónica de la YSZ es  $0.10 \text{ } \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$  en el intervalo de presión parcial de oxígeno comprendido entre 1 y  $10^{-18}$  atm, la energía de activación del proceso de difusión es  $96 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$  y el CET  $10.5 \times 10^{-16} \text{ cm}(\text{cm}^2\text{C})^{-1}$ .

Los materiales con estructura perovskita y propiedades adecuadas para ser utilizados como electrolitos, tales como el  $La_{1-x}Sr_xGa_{1-y}Mg_yO_{3-x/2-y/2}$ , están siendo estudiados (8) en los últimos años y se observa que presentan propiedades adecuadas para emplearlas en celdas que funcionen a temperaturas comprendidas entre 500 y 800 °C.

#### 4. ELECTRODOS

Además de los requisitos indicados en el apartado 2, los cátodos deben ser estables en las condiciones oxidantes de trabajo ( $O_2$  a  $T > 800 \text{ } ^\circ\text{C}$ ) y los ánodos deben serlo en condiciones fuertemente reductoras ( $H_2$  a  $T > 800 \text{ } ^\circ\text{C}$ ).

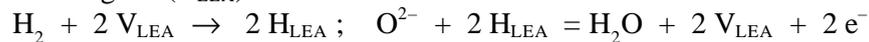
##### 4.1. Ánodo

El níquel es el elemento catalíticamente activo que incorporado a una matriz de YSZ forma el material denominado cermet que actúa de ánodo en las celdas SOFCs. La matriz YSZ evita que el níquel pierda parte del área superficial activa y asegura una estructura altamente porosa que permite el paso del gas a los lugares de reacción. La conductividad eléctrica del cermet con el 30% de níquel (8,9) es de  $20 \text{ } \Omega^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$  a 1000 °C, la impedancia de 0,2 a  $0,3 \text{ } \Omega\cdot\text{cm}^2$ , la energía de activación de  $5,38 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$  y un CET compatible con YSZ.

El combustible que llega al ánodo es  $H_2$  puro ó una mezcla de  $H_2$ ,  $H_2O$  y  $CO$ . En la actualidad se considera que las reacciones de oxidación del combustible se producen en el ánodo y en la superficie del electrolito. Cuando el combustible empleado es  $H_2$  puro, las reacciones que se proponen para el electrodo de níquel son:



siendo  $V_O$  una vacante aniónica. En la superficie del electrolito la reacción tiene lugar en lugares electroquímicamente activos (LEA) que se corresponden con posiciones vacantes de oxígeno ( $V_{LEA}$ ):



Los electrones generados se desplazan por la interfase alejándose de las posiciones activas en dirección al circuito exterior.

Si el  $CO$  esta presente en el combustible la semirreacción que tiene lugar en el ánodo es:  $CO + O^{2-} = CO_2 + 2 e^-$ .

#### 4.2. Cátodos

Los materiales seleccionados tienen que ser estables en atmósfera oxidante y, como los ánodos, deben presentar una estructura porosa, ser buenos conductores de la electricidad y es, a ser posible, que presenten conductividad iónica.

Los materiales que en la actualidad presentan estas propiedades a costos competitivos son las manganitas de lantano dopadas (5,10) (LSM) con estructura perovskita ( $ABO_3$ ). Estos materiales dopados con estroncio en la posición A son los habitualmente utilizados en SOFC con electrolito YSZ. La fase  $LaMnO_3$  presenta una conductividad intrínseca tipo p. La estequiometría del oxígeno a la temperatura de operación ( $>800^\circ C$ ) es una función de  $P_{O_2}$ , presentando un exceso de oxígeno respecto a su estequiometría en una atmósfera oxidante y pudiendo ser deficiente en atmósfera reductora.

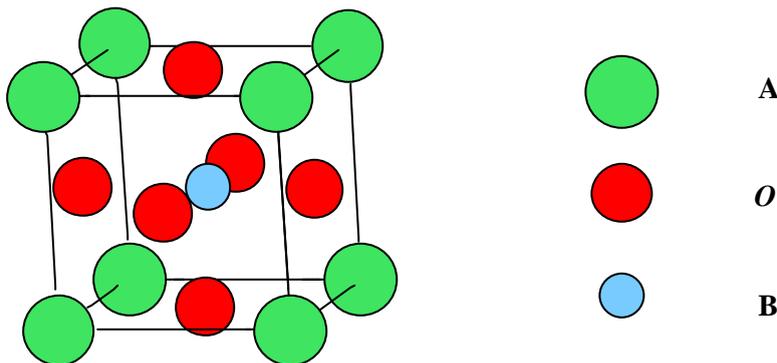


Figura 4. Estructura de una perovskita cúbica.

La conductividad tipo p de  $\text{LaMnO}_3$  se debe a la existencia de vacantes de catión, por lo que si se dopa con cationes de menor carga que el  $\text{La}^{3+}$  en A o B la conductividad aumentará. Los iones de los metales del grupo 2 (Mg, Ca, Sr, Ba) son los más utilizados para dopar en A. Estos cationes con valencia +2 ocupan en la red posiciones de  $\text{La}^{3+}$  y para mantener el balance de cargas iones  $\text{Mn}^{3+}$  se oxidan a  $\text{Mn}^{4+}$ . La conductividad eléctrica de las manganitas de lantano resulta del desplazamiento de un electrón entre los estados de valencia +3 y +4 del Mn. La estequiometría de la perovskita resultante es  $\text{La}^{+3}_{1-x}\text{M}^{2+}_x\text{Mn}^{3+}_{1-x}\text{Mn}^{4+}_x\text{O}_3$ .

Los mejores resultados se consiguen para  $M = \text{Sr}$ . Se observa que la conductividad varía con el contenido en Sr, obteniéndose un valor óptimo para  $x = 0,2$  y  $0,3$ ; el CDT aumenta con el contenido de estroncio. Conviene indicar que las propiedades de todos los materiales que intervienen en las SOFC están muy influenciadas por las condiciones de síntesis (método, temperatura y atmósfera en la que tiene lugar la síntesis, cristalinidad, tamaño de grano,...).

En la práctica los cátodos están formados por dos capas, la primera consiste en un cermet de LSM e YSZ que se encuentra en contacto con el electrolito y una segunda capa delgada de LSM pura aplicada sobre el cermet.

La reacción de reducción del oxígeno en el cátodo se describe como sigue:

La LSM pura es un conductor iónico pobre por lo que las reacciones electroquímicas están limitadas a la región frontera de tres fases electrolito–gas–electrodo (TPB: *triple phase boundary*) según el mecanismo 1 indicado en la figura 5. Por este motivo y dada la alta polarización del cátodo a temperaturas inferiores a  $800^\circ\text{C}$  (alta resistencia óhmica y sobretensión), los óxidos mixtos de tipo perovskita con alta conductividad iónica y eléctrica (MIEC: *mixed ionic–electronic conductors*) parecen ser candidatos idóneos para cátodos. En estos materiales, el intercambio de oxígeno también ocurre en la superficie del electrodo con difusión de iones a través del conductor mixto, según el mecanismo 2, lo cual amplía la región en la que se produce la actividad electroquímica a la interfase gas–cátodo (DPB: *double phase boundary*).

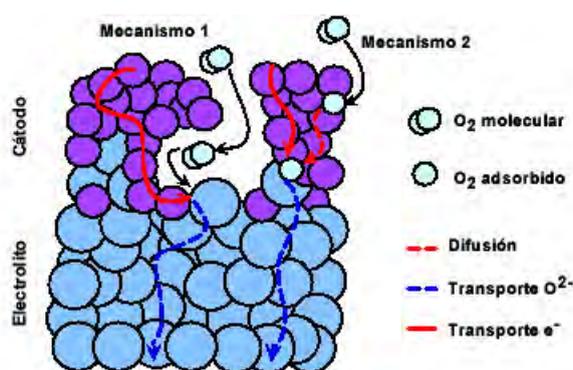


Figura 5. Mecanismos de difusión posibles en el cátodo de una celda SOFC.

Los valores obtenidos para las propiedades de LSM con  $x = 0,2$  a  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$  son: conductividad eléctrica de  $141,3\text{ }\Omega^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$  para el intervalo de presión parcial de oxígeno de  $1$  a  $10^{-9}$  atm, CET de  $11\cdot 10^{-6}\text{ cm}(\text{cm}\cdot^{\circ}\text{C})^{-1}$  y energía de activación de  $0,09$  eV.

## 5. INTERCONECTOR

Los materiales empleados en interconexión entre celdas individuales en las SOFC, además de presentar las propiedades generales recogidas en el apartado 2, tienen que proporcionar el contacto eléctrico entre celdas contiguas y facilitar la distribución del combustible en el ánodo y del oxígeno en el cátodo. Estas características implican que el material de interconexión debe presentar una alta conductividad eléctrica, prácticamente nula conductividad iónica, y tiene que ser estable en las atmósferas oxidantes y reductoras.

Con electrolito de YSZ, la cromita de lantano  $\text{LaCrO}_3$  es la habitualmente utilizada para interconector. La  $\text{LaCrO}_3$  tiene estructura perovskita y presenta comportamiento de conductor tipo p. Se puede aumentar la conductividad del material dopándolo en posición A con un catión divalente ( $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ). La estequiometría resultante (5,11) es:  $\text{La}^{3+}_{1-x}\text{M}^{2+}_x\text{Cr}^{3+}_{1-x}\text{Cr}^{4+}_x\text{O}_3$ .

La conductividad de  $\text{LaCrO}_3$  en atmósfera de hidrógeno es del orden de 100 veces menor que en aire, sin embargo, a las elevadas temperaturas de operación ( $>800\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) la conductividad que presenta en atmósfera reducida no es limitante para su empleo como interconector en las SOFC.

Para  $M = \text{Sr}$ ,  $x = 0,1$  y a  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$  las propiedades del material son: conductividad de  $14\text{ }\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$  en un intervalo de presión parcial de oxígeno de  $10^3$  a  $10^{-2}$ , energía de activación de  $12\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$  y CET de  $9,5\cdot 10^{-6}\text{ cm}\cdot(\text{cm}\cdot^{\circ}\text{C})^{-1}$ .

## REFERENCIAS

1. M. Junl, S. Primdahl, C. Manon y M. Mogensen, *J. of Power Sources*, **1996**, Vol. 61, 173.
2. a) A.J. Appleby y F.R. Foulkes, *Fuel Cell Handbook*, Van Nostrand Reinhold, New York (1989). b) N.Q. Minh y T. Takahashi, *Science and technology of ceramic fuel cells*, Elsevier Science B.V. (1995).
3. B.F. Sorensen y S. Primdahl, *J. Mat. Sci.*, **1998**, Vol. 33, 5291.
4. S.P.S. Badwal y K. Foger, *Materials Forum*, **1997**, Vol. 21, 187.
5. a) N.Q. Minh, *J. Am. Ceram. Soc.*, **1993**, Vol. 76, 563. b) D.W. Strickler y W.G. Carlson, *J. Am. Ceram. Soc.*, **1987**, Vol. 70, 265.
6. W.Z. Nernst, *Elektrochem. Angew. Phys. Chem.*, **1899**, Vol. 6, 41.
7. C. Wagner, *Naturwissenschaften*, **1943**, Vol. 31, 265.
8. B.C.H. Steele y A. Heinzl, *Nature*, **2001**, Vol. 414, 345.

9. M. Mogensen, N.H. Sammes y G.A. Tompsett, *Solid State Ionics*, **2000**, Vol. 129, 63.
10. O. Yamamoto, Y. Takeda, R. Kanno y T. Kojima, *Solid State Ionics*, **1987**, Vol. 22, 241.
11. M.J. Weber, C.W. Griffin y J.B. Bates, *J. Am. Ceram. Soc.*, 1987, Vol. 70, 265.



## QUÍMICA Y SALUD PÚBLICA: PESTICIDAS

**Consuelo Escolástico León, M<sup>a</sup>. Pilar Cabildo Miranda**

Departamento de Química Orgánica y Biología, Facultad de Ciencias  
Universidad Nacional de Educación a Distancia, Senda del Rey s/n, 28040-Madrid  
cescolas@ing.uc3m.es

*En la actualidad, los riesgos de exposición por diferentes vías (alimentos, agua, aire, etc.) a un gran número de compuestos contaminantes, entre los que se incluyen los pesticidas, constituye un grave problema de salud pública. Los efectos adversos que pueden provocar están relacionados con el medio ambiente, donde causan alteraciones en los ecosistemas al actuar sobre la fauna y la flora, bioacumulación por el aumento de la concentración de estos productos tóxicos en la cadena trófica y la contaminación de lugares en los cuales no se han utilizado, debido a su capacidad de transporte a grandes distancias. Sobre la salud humana pueden presentar efectos tóxicos agudos o crónicos como neurotoxicidad, alteraciones en la reproducción, sistema inmunológico, efectos mutagénicos, teratogénicos y carcinogénicos, entre otros.*

### 1. INTRODUCCIÓN

En nuestra vida cotidiana nos encontramos rodeados de multitud de productos químicos, desde las medicinas que usamos de forma tan habitual hasta los insecticidas, productos de limpieza, pinturas, barnices, aislantes, plásticos, aditivos y conservantes, cosméticos, etc. Entre todos estos productos químicos nos encontramos con el grupo de los *pesticidas* o *plaguicidas*.

Los *pesticidas* poseen dos características que los hacen interesantes para el estudio desde el punto de vista de la salud: en primer lugar son biocidas, es decir, compuestos químicos diseñados para eliminar organismos interfiriendo en mecanismos metabólicos vitales y, dado que las principales rutas metabólicas son comunes en la mayoría de los organismos, no es difícil deducir que suponen un riesgo importante para nuestra salud. En segundo lugar, su uso está muy extendido, y parece que la tendencia es a ir incrementándose todavía más, por lo que parece difícil sustraerse a su contacto.

Pero, aunque representan un gran problema de salud pública, se han hecho necesarios tanto en la agricultura para la producción de alimentos, como en la sanidad, para la lucha contra epidemias como la malaria, el tifus, etc., causadas por algunos insectos vectores.

La FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) define los *pesticidas* o *plaguicidas* como “cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinada a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, incluyendo los vectores de enfermedades humanas o de animales, las especies no deseadas de plantas

o animales que causan perjuicio o que interfieren de cualquier otra forma en la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos, productos agrícolas, madera y productos de madera, alimentos para animales, o que pueden administrarse a los animales para combatir insectos, arácnidos u otras plagas, en o sobre sus cuerpos”.

El uso de sustancias con acciones pesticidas se remonta hacia el siglo IX a.C. donde Homero se refiere a las propiedades del azufre, debido a su capacidad fungicida al atacar principalmente a los mohos. A principios del siglo XIX se extiende el uso de elementos como el azufre, cobre, arsénico, etc. como plaguicidas y, en 1828, se comercializa el piretro en polvo, sustancia que contiene las denominadas piretrinas, obtenida de las flores de piretro (*Chrysanthemum cinerariaefolium*). Estas flores se empleaban como insecticidas desde hacia siglos por las tribus caucásicas y armenias.

Pero es en el siglo XX, con el gran avance de la síntesis orgánica, cuando se inicia el desarrollo de un mayor número de compuestos orgánicos, al descubrir Paul Muller en 1940 las propiedades insecticidas del DDT (diclorodifeniltricloroetano), producto que revolucionó el mundo de los pesticidas y le valió el Premio Nobel de Medicina y Fisiología en 1948. Este compuesto fue muy utilizado Durante la II Guerra Mundial por su capacidad de eliminar los piojos y los insectos vectores de enfermedades como el tifus.

## 2. CLASIFICACIÓN

La clasificación de los pesticidas se realiza siguiendo diversos criterios, debido al gran número de sustancias y mezcla de productos que abarcan.

Una manera habitual de clasificarlos es *según su actividad biológica*, dependiendo de los organismos que se desean controlar. Según esta clasificación se encuentran: insecticidas, acaricidas, fungicidas, bactericidas, herbicidas, rodenticidas, larvicidas, nematocidas, y avicidas, empleados para luchar contra los insectos, ácaros, hongos, bacterias, plantas adventicias, roedores, larvas, nemátodos y aves, respectivamente.

Otra de las formas de clasificación que propone la Organización Mundial de la Salud (OMS) es según la toxicidad aguda de los pesticidas. Se basa principalmente en estudiar la toxicidad oral y dérmica de los plaguicidas sobre ratas de laboratorio. Para ello se determina la dosis letal 50 (DL<sub>50</sub>) que es la dosis necesaria para producir la muerte al 50% de los animales expuestos y se expresa en mg/kg del peso del cuerpo del animal (Tabla 1).

Generalmente, también se clasifican según su composición química en: compuestos organoclorados, organofosforados, carbamatos, tiocarbamatos, piretroides, triacinas, derivados del ácido fenoxiacético, derivados del cloronitrofenol, derivados piridílicos, compuestos organomercuriales y otros.

Tabla 1. *Clasificación de los pesticidas según su toxicidad aguda (OMS).*

Clase	Por vía oral		Por vía dérmica	
	DL <sub>50</sub> , rata, mg/Kg		DL <sub>50</sub> rata, mg/Kg	
	Sólido	Líquido	Sólido	Líquido
Ia (Extremadamente peligroso)	5 ó menos	20 ó menos	10 ó menos	40 ó menos
Ib (Muy peligroso)	5-50	20-200	10-100	40-400
II (Moderadamente peligroso)	50-500	200-2000	100-1000	400-4000
III (Ligeramente peligroso)	Más de 500	Más de 2000	Más de 1000	Más de 4000

En la actualidad se encuentran registrados alrededor de 6.500 pesticidas y a continuación se hace mención a tres de los principales grupos.

### 3. ORGANOCLORADOS

Los compuestos organoclorados fueron los primeros pesticidas sintéticos que se comercializaron. Entre ellos se encuentran el *DDT*, *aldrín*, *endrín*, *dieldrín*, *heptacloro*, *hexaclorobenceno*, *toxafeno*, *clordano* y *mirex* (ver Figuras 1 y 2). Todos tienen en común el llevar átomos de cloro en su estructura y son compuestos que han sido incluidos en la lista de los denominados contaminantes orgánicos persistentes (COPs). En Mayo de 2001 noventa países firmaron el Convenio de Estocolmo, donde se reconocen los efectos tóxicos que causan los COPs en la salud pública y la bioacumulación que se produce en el medio ambiente, llegándose a un acuerdo para su reducción y eliminación gradual (aún la mayoría de los países incluida España no han ratificado este convenio).

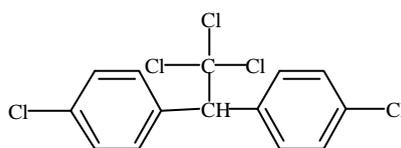


Figura 1. Estructura química del DDT.

La utilización del DDT merece especial atención, ya que es uno de los ejemplos más representativos de las ventajas e inconvenientes que puede presentar la utilización de un producto químico, en este caso un insecticida, y de su repercusión en la opinión de la sociedad sobre la Química. Este compuesto es efectivo en el control de plagas de insectos sobre los cultivos y también en la erradicación de enfermedades

como la malaria transmitida por vectores como el mosquito *Anopheles*, o el tifus propagada por los piojos, etc. Debido a su aplicación, en 1972 se reconoció que la malaria estaba erradicada en 37 países y bajo control en 80. Además, se calcula que evitó la muerte de 50 millones de personas en el periodo de 1940 a 1973, cuando se utilizaron del orden de dos millones de toneladas de DDT (1).

Sin embargo, aparecieron problemas de contaminación ambiental y de salud derivados de su uso, que hicieron que fuese prohibido en Estados Unidos en 1972 y actualmente se encuentre también prohibido o restringido en la mayoría de los países desarrollados, aunque se sigue utilizando en países en vías de desarrollo, sobre todo en campañas de salud pública para combatir insectos vectores de enfermedades de importancia epidemiológica, como por ejemplo, la malaria, el dengue o el tifus.

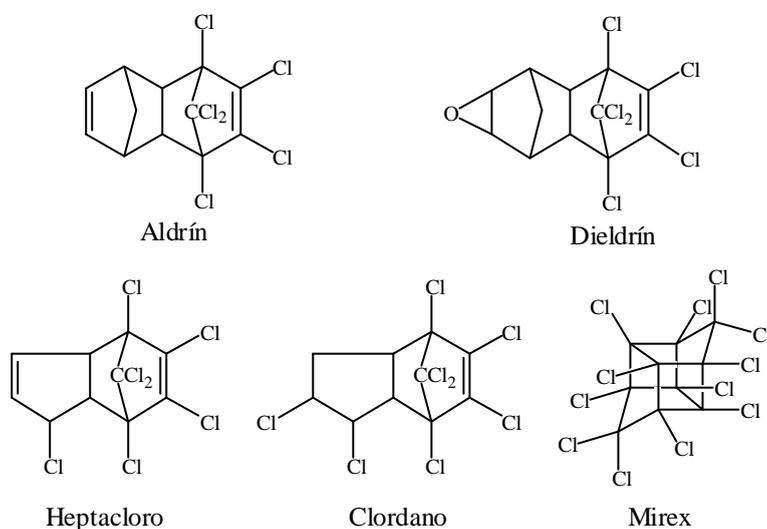


Figura 2. *Diversos compuestos organoclorados usados como pesticidas.*

En contrapartida, el DDT y el resto de pesticidas organoclorados son contaminantes ambientales, ya que poseen presiones de vapor bajas, siendo por tanto poco volátiles, especialmente en climas fríos. Además son estables a la luz solar, y resisten la degradación por reacciones químicas y organismos vivos, siendo su transformación a otras sustancias muy lenta.

La persistencia de estos pesticidas en el medio ambiente se debe precisamente a su lenta velocidad de degradación en el suelo, sobre todo en regiones con temperaturas frías donde tiende a llegar mediante diferentes mecanismos de transporte (aire, agua, etc), y quedarse depositados. Por ello, se han encontrado restos de DDT en todos los niveles de la cadena trófica del Círculo Polar Ártico, aunque la utilización de este insecticida en estas regiones ha sido escasa (2).

En determinadas condiciones, la persistencia de estos contaminantes puede incluso aumentar, como ocurre con el DDT que, cuando se encuentra en un medio como el agua, se ha estimado su tiempo de vida media en 22 años (3). En la tabla 2 se muestran los tiempos de vida media de diversos compuestos organoclorados (4).

Una de las propiedades químicas más importante de los compuestos organoclorados es su lipofilia. Esta solubilidad en las grasas provoca su acumulación principalmente en los tejidos adiposos, hígado, riñones, cerebro, etc., del organismo (5) y dificulta la excreción por vía urinaria al ser poco solubles en agua, produciendo también una biomagnificación, o sea, el aumento continuo de las concentraciones de estas sustancias en los sucesivos eslabones de la cadena alimentaría.

Tabla 2. *Tiempos de vida media aproximados de algunos pesticidas organoclorados.*

<b>Pesticida</b>	<b>Tiempo de vida media aproximado</b>
DDT	10 a 15 años
Aldrín*	5 años (suelos templados)
Toxafeno	3 meses-12 años
Clordano	2-4 años
Dieldrín	5 años (suelos templados)
Endrín	hasta 12 años
HCB	3-6 años
Heptacloro	hasta 2 años
Mirex	Hasta 10 años

\* Datos del dieldrín (aldrín se convierte rápidamente en dieldrín).

El metabolismo de los pesticidas organoclorados dentro del organismo puede dar lugar a compuestos con una mayor toxicidad, como ocurre con el aldrín, que se transforma en dieldrín y el DDT que forma los metabolitos DDE y DDD con mayor capacidad tóxica (6).

Es frecuente también encontrar residuos de estos compuestos en los alimentos (7), sobre todo los de origen animal, como los huevos y la carne (8). En diversos estudios realizados en España se han detectado residuos de DDE y otros pesticidas en muestras analizadas de distintos alimentos (carne, pescado, huevos, cereales, etc) (9,10). Se ha observado que se produce una disminución de la concentración de organoclorados en algunos alimentos como las espinacas si se someten a procesos térmicos (11).

Los principales efectos de los compuestos organoclorados sobre la salud son teratogénesis, mutagénesis, carcinogénesis, trastornos inmunológicos, neurotoxicidad, insomnio, etc., (12). El DDT presenta efectos tóxicos agudos en peces, invertebrados y

aves, y estudios sobre animales de laboratorio han demostrado su toxicidad crónica sobre el sistema nervioso, hígado, riñones y sistema inmunitario (13), y en algunos estudios se han relacionado los niveles altos de DDT y DDE con el desarrollo de cánceres de mama en mujeres (14).

Ante la retirada progresiva de los pesticidas organoclorados surgieron los pesticidas de nueva generación como son los organofosforados y carbamatos.

#### 4. ORGANOFOSFORADOS

Los organofosforados son pesticidas que surgieron como alternativa para sustituir a los compuestos organoclorados en la agricultura, aunque se ha observado que presentan una toxicidad aguda mayor, siendo especialmente peligrosos para los trabajadores que los manipulan directamente. En la actualidad, el número de intoxicaciones agudas por organofosforados se ha visto incrementado en zonas agrícolas de nuestro país (15), generando serios problemas de salud pública. Estos compuestos también están presentes en la preparación de insecticidas caseros para cucarachas y hormigas.

Los organofosforados han sido utilizados por algunos países como armas químicas, siendo conocidos como “gases de guerra” o “gases nerviosos” por sus efectos sobre el sistema nervioso central. Estos gases se desarrollaron a finales de los años 30 por un gran número de investigadores, entre ellos Schrader, y a pesar de su gran potencial tóxico no fueron utilizados en la Segunda Guerra Mundial (16). Durante esta época, en Alemania, se sintetizaron entre otros gases el *tabún*, *somán* y el *sarín*, siendo este último utilizado por grupos terroristas japoneses en los años 1994 en Matsumoto y 1995 en el metro de Tokio.

En la figura 3 se muestra la estructura química general de los organofosforados, donde los sustituyentes  $R_1$  y  $R_2$  pueden ser grupos alquilo, alcoxi, arilo, amido, etc y X puede ser un grupo haluro, cianuro, tiocianato, fenilo, fosfato, carboxilato, etc.

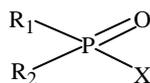


Figura 3. Estructura general de los compuestos organofosforados.

Entre los organofosforados más utilizados y, por tanto, más conocidos, se encuentran el malatión, paratión y diclorvos (Figura 4). El paratión fue sintetizado en 1944 por Schrader y junto con el malatión, obtenido unos años después, ha sido muy usado en la agricultura por su gran potencia como insecticida.

Las principales características de los organofosforados son su liposolubilidad y su baja persistencia en el medio ambiente como consecuencia de su degradación por

reacciones de hidrólisis en medios alcalinos en los suelos, lo que hace necesaria su aplicación con mayor frecuencia para mantener su eficacia.

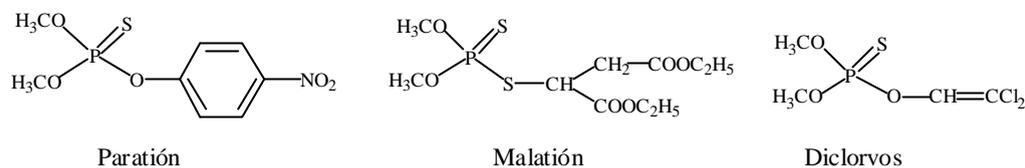


Figura 4. *Diversos insecticidas organofosforados.*

Los organofosforados actúan en el organismo inactivando la enzima acetilcolinesterasa por fosforilación, aumentando así la cantidad de acetilcolina en la sinápsis de la neurotransmisión colinérgica, dando lugar a efectos murgarínicos y nicotínicos, con una serie de síntomas como convulsiones, hipersecreción, incontinencia urinaria y de heces, bradicardia, hipotensión, etc. pudiendo llegar a producir la muerte (17). En investigaciones recientes se ha relacionado la exposición a pesticidas organofosforados con la enfermedad de Parkinson (18) y con seguridad aparecerán nuevos estudios con datos sobre los efectos crónicos que producen los organofosforados sobre la salud humana, debido a las lagunas que aún existe sobre los efectos a largo plazo de estos compuestos.

Los compuestos organofosforados son metabolizados en el hígado por las enzimas microsomales a compuestos tóxicos que posteriormente se degradan mediante reacciones de hidrólisis y se excretan por la orina.

## 5. CARBAMATOS

Los carbamatos son derivados de ésteres del ácido carbámico, y entre ellos se encuentran el aldicar, el propoxur y carbaril (Figura 5), utilizados principalmente en el hogar, jardines y agricultura.

Los efectos tóxicos producidos por los carbamatos son similares a los de los organofosforados, sin embargo la duración de la toxicidad aguda producida por los carbamatos es menor debido a que la inhibición producida sobre la acetilcolinesterasa es reversible, porque la unión carbamilo-acetilcolinesterasa se rompe antes que el complejo fosforilo-acetilcolinesterasa formado por los compuestos organofosforados y, por tanto, la metabolización de los carbamatos es más rápida (19).

Aunque, en general, se considera que los carbamatos presentan una menor toxicidad que otros pesticidas, no hay que olvidar que el aldicar es uno de los compuestos con mayor toxicidad aguda, produciendo graves trastornos sobre el sistema inmunológico (20).

Todos los pesticidas de nueva generación presentan la ventaja de no ser tan persistentes en el medio ambiente como los organoclorados, pero su toxicidad aguda es aún mayor. Por tanto, el problema no está resuelto y se está llevando a cabo un gran

esfuerzo en la investigación de nuevos agentes por un lado y, por otro, se están buscando alternativas diferentes como el desarrollo de alimentos transgénicos o la agricultura ecológica, para intentar eliminar los problemas que conlleva el uso de pesticidas sobre la salud pública.

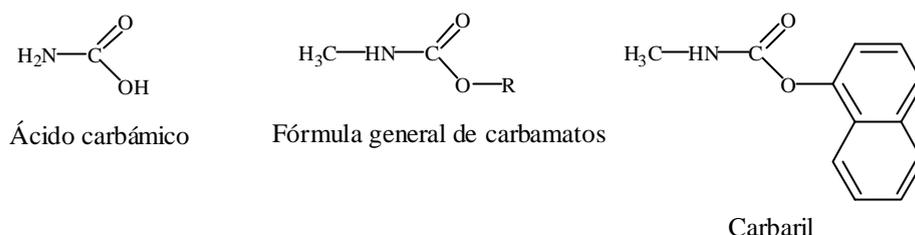


Figura 5. Estructura química de carbamatos.

## REFERENCIAS

1. R.L. Metcalf, *J. Agric. Food Chem.*, **1973**, Vol. 21 (4), 511.
2. H.J. Auman et al., *Environmental Toxicology and Chemistry*, **1997**, Vol. 16 (3), 498.
3. P.H. Howard, R.S. Boethling, W.F. Jarvis, W.M. Meylan, E.M. Michalenko, *Handbook of Environmental Degradation Rates*, Ed. H. Taup. Lewis Publisher, Chelsea, Michigan (1991).
4. L. Ritter., K.R. Solomon, J. Forget, M. Stemeroff and C. O'Leary, *Background Report for the International Experts Meeting on Persistent Organic Pollutants: Towards Global Actino*, Vancouver, June (1995).
5. I. A .Al-Saleh, *J. Envi. Pathol. Toxicol. Oncol.*, **1994**, Vol. 13, 151.
6. M.G. Troisi, K. Haraguchi, S.D. Kaydoo, M. Nyman, A. Aguilar, A. Borrel, U. Siebert and F. C. Mason, *J. Toxicol. and Environ. Health*, **2001**, Vol. 62, 1
7. L. Nasreddine, F. Parent-Massin, *Toxicol. Lett.*, **2002**, Vol. 28, 127 (1-3), 29.
8. J.L. Emerson, *Food Technol*, **1981**, Vol. 34 (12), 77.
9. L.M. Hernández, M.A. Fernández, B. Jiménez, M.J. González, *Bull. Environ. Conta. Toxicol.*, **1994**, Vol. 52, 246.
10. R. Lázaro, A. Herrera, A. Ariño, M.P. Conchello, S. Bayarri, *J. Agric. Food Chem.*, **1996**, Vol. 44, 2742.
11. E.R. Elkins, R.O. Farrow, E.S. Kim, *J. Agric. Food Chem.*, **1979**, Vol. 27 (1), 138.
12. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Department of Health and Human Services, *Public Health Service*, ATSDR, Atlanta (2001).
13. F.M. Vine, L. Stein, K. Weigle, J. Schroeder, D. Degnan, C.J. Tse, C. Hanchette, L. Backer, *Environ. Health Persp.*, **2000**, Vol. 108 (12), 1113.

14. T.K. Kirk, L.B. Janice, R.W. Setzer, *Environ. Health Persp. Suppl.*, **1994**, Vol. 102, 127.
15. F. Yelamos, F. Díez, J.C. Martín, M.J. García, A. Lardelli, J.F. Peña, *Med. Clin. (Barc.)*, **1992**, Vol. 98, 681.
16. J.E. Baños, F. Bosch, *Med. Clin. (Barc.)*, **1992**, Vol. 99, 718.
17. R.P.Koshakji, J. Cole y R.E. Harbinson, *Res Comun. Chem. Pathol. Pharmacol.*, **1973**, Vol. 6 (2), 677.
18. A. Priyadarshi, S. Khuder, E. Schaud, S. Shrivastava, *Neuro Toxicol.*, **2000**, Vol. 21 (4), 435.
19. D.J. Ecobichon, *Toxic Effects of Pesticides*, en *Casarett and Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons*, M.O. Amdur, J. Doull, C.D. Klaassen, Eds., McGraw-Hill, New York (1996).
20. W.J. Hayes y E.R Laws, *Handbook of Pesticide Toxicology*, Ed. Academic Press, San Diego (1991).



## ESTUDIO DE ARCILLAS QUE SE ENCUENTRAN EN NUESTRO ENTORNO Y APLICACIONES

*Mercedes Meijueiro Morosini, Marta Rodríguez Pérez*  
Departamento de Química Inorgánica, Facultad de Química  
Universidad Nacional Autónoma de México, 04510-México  
roperez@servidor.unam.mx.

*Para que los estudiantes lleguen a estar profundamente comprometidos en su propio aprendizaje y entender mejor la Química, hay que propiciar experimentos de la vida cotidiana, como es el estudio de arcillas de su entorno, por lo que se propone un experimento en que comprueban propiedades de la arcilla proporcionada y así inducirán su aplicación en materiales de uso diario.*

### 1. INTRODUCCIÓN

Las arcillas son rocas consolidadas o no consolidadas que suelen componerse de uno o varios minerales arcillosos. Son compuestos silico-aluminatos hidratados mezclados con sílice, óxido férrico, dióxido de manganeso y de magnesio, carbonato de calcio, mica, humus, etc. Las arcillas se caracterizan por la extremada finura de sus partículas (a menudo tamaño coloidal), pero muestran extensas variaciones en sus propiedades físicas y químicas: esto se debe a su composición mineralógica.

Los científicos especializados en el estudio de suelos han definido las arcillas como sistemas dispersos de los productos coloidales producidos del desgaste de las rocas por los agentes atmosféricos, en los cuales predominan partículas minerales de dimensiones inferiores a 2 micras. Éstas son de gran avidez por el agua cuando están secas, se reblandecen cuando están húmedas, formando una masa que puede ser cortada y moldeada a forma deseada; cuando se somete a temperatura se endurece y, según su composición, toman el color (pueden ser de color azul, rojo, café, amarillo, gris, etc.).

Los estudios modernos han organizado a los minerales arcillosos en cuatro grupos cristalinos y un grupo no cristalino: a) grupo del caolín, b) grupo de la montmorillonita, c) grupo diversamente llamado la illita, la bravalsita o la hidromica, d) la attapulgita, y e) la alofana, que no es cristalina (1,2).

Las arcillas de los diferentes grupos son semejantes en su aspecto superficial, pero muestran propiedades mineralógicas, físicas, térmicas y tecnológicas muy diferentes.

Algunos usos de las arcillas son: como ablandadores de agua, absorbentes, agentes desecantes, agregados para cemento, para caucho, para papel, para vidrios, artículos sanitarios, baldosas y azulejos, ladrillos para construcción, ladrillos para revestimiento, cementos, cerámica artística, refractarios (ladrillos) porcelana eléctrica

(3), porcelana química, mordentes, pintura, terracota, gres, industria farmacéutica, entre otros.

## 2. OBJETIVO

El objetivo fundamental es que, al realizar el experimento, los alumnos conozcan que es una arcilla, sus propiedades y sus aplicaciones.

## 3. METODOLOGÍA

Se realizan diversas pruebas físicas de una arcilla.

*Problema:* ¿Qué propiedades físicas pueden relacionarse con las determinaciones de las pruebas físicas de plasticidad, dilatación, grado de Expansión y color de quemado de una arcilla?.

Los *reactivos y material* de laboratorio necesarios son:

- Molino.
- Mortero.
- Tamices (números: 8, 20,40, 60, 80, 100, 150 y 200).
- Estufa.
- Microscopio óptico.
- Lentes de protección y cubre boca.
- Placa metálica.
- Arcillas de diferentes procedencias.

El *procedimiento* a seguir es:

Pesar una muestra 200g de una arcilla en bruto. Triturar y después moler hasta obtener un polvo fino. Tamizar con mallas de los números 8, 20, 40, 60, 80, 100, 150 y 200, utilizando agua en cantidad necesaria. Secar a temperatura ambiente cada una de las fracciones obtenidas de cada malla. Después, secar a la estufa. Pesar cada una de estas fracciones para obtener el rendimiento. Tomar una pequeña cantidad de cada fracción y observar en el microscopio óptico. En las tablas 1 y 2, escriba el peso y rendimiento obtenidos. Anote el peso perdido y la región del yacimiento también (4).

Tabla 1.

Número de malla	Peso obtenido (g) Vía	Rendimiento

Peso perdido: \_\_\_\_\_g.

Yacimiento (lugar o región): \_\_\_\_\_.

Tabla 2.

Tipo de arcilla (lugar o región)	peso (g)	Cantidad de agua (ml)

*Determinación de Dilatación:* Fabricar una barra cilíndrica de arcilla de 10 cm de largo y de 1 a 2 cm de diámetro. Pesar y secar a temperatura ambiente, medir la contracción de la barra y determinar el peso después de haber transcurrido 24 horas. Posteriormente llevar al horno a 1050 °C, volver a medir y a pesar. Obtener el porcentaje de dilatación, así como la diferencia de pesos. Anótelo en la tabla 3.

Tabla 3.

Tipo de arcilla	Longitud (cm)			Diámetro (cm)			Peso (g)		
	t amb. (°C)	Después de 24 h	A 1050 °C	t amb. (°C)	Después de 24 h	A 1050 °C	t amb. (°C)	Después de 24 h	A 1050 °C

*Determinación del Grado de Expansión:* Pesar 50 g de muestra de una arcilla que pasó por la malla 100, colocar en una probeta de 500 ml, añadir el doble de la cantidad de arcilla en agua. Determinar el volumen de agua a las 2 horas, a las 24 horas y a las 48 horas. Determinar el grado de expansión utilizando la fórmula (5):

$$G.E. = [ ( V_i - V_f ) / V_i ] \times 100$$

G.E. = Grado de Expansión

V<sub>i</sub> = volumen inicial

V<sub>f</sub> = volumen final

Anótelo en la tabla 4.

Tabla 4.

Tipo arcilla	Peso (g)	Volumen de agua (ml) en probeta			Grado de Expansión
		2 h	24 h	48 h	

*Determinación del Color de Quemado (2,6):* Tomar una muestra de 1 g de arcilla molida, ponerla en un crisol y llevarla al horno a 1050 °C. Observar el color de la arcilla antes de que ésta se introduzca al horno y después del tratamiento térmico. Anótelos en la tabla 5.

Tabla 5.

Tipo de arcilla	Color Inicial	Color de Quemado

#### 4. MEDIDAS DE SEGURIDAD

Durante la trituración y molienda puede proyectarse material, por lo que se deben utilizar lentes de protección y cubre boca, para evitar que los polvos irriten o lastimen los ojos y sean inhalados.

Para efectuar el procedimiento, cuando utilice la mufla, deberá de realizarse con protección de guantes, lentes de protección y cubriéndose con bata de algodón abrochada. Previamente deberá de colocarse a un lado de la mufla un piso de ladrillo refractario y encima de éste la placa de metal.

#### 5. EXPERIMENTACION ADICIONAL

Realice este pequeño ensayo y conteste las siguientes preguntas. Tome cantidades iguales de arcilla separada por las mallas 60, 100 y 200. Mezcle con agua suficiente hasta obtener una masa moldeable de cada una. Mida el agua que se necesitó. Elabore una barrita de cada muestra y divida en tres fracciones cada barra, de tal manera que tenga 3 fracciones de cada una; en total deben ser 9 fracciones.

Después de secar a temperatura ambiente y a la estufa a 100 °C, sométalas a diferentes tratamientos térmicos: tres fracciones diferentes a 500 °C, otras tres fracciones diferentes a 800 °C y otras tres fracciones diferentes a 1050 °C. Posteriormente pese cada una, sumérlas en una cantidad conocida de agua durante 5 minutos. Sacar y pesar cada una. Puede medir el volumen final del agua también. Organice estos datos y represéntelos en una tabla. Parece sencillo pero concéntrese e intuya lo que resultará de este ensayo, lo cual le apoyará para que usted pueda comprender la importancia que tienen las propiedades físicas en estos tipos de materiales cerámicos.

1. ¿Cuál necesito mayor cantidad de agua?.
2. ¿Cuál resultó tener mejor plasticidad?.
3. ¿En qué propiedades físicas influirá el tamaño de partícula?.
4. ¿Qué propiedades físicas se tendrán con los diferentes tratamientos térmicos?.
5. Con los datos obtenidos de la tabla que usted mismo elaboró ¿podría obtener alguna gráfica?, inténtelo, constrúyala y distinga qué propiedad física esta usted determinando.

## 6. CONCLUSIÓN

Al realizar el estudio de una arcilla del entorno, y comprobar sus propiedades el alumno estará muy motivado y preparado para diseñar sus aplicaciones.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Rex W Grimshaw, *The Chemistry and Physics of Clays and Allied Ceramic Materials*, 4 ed., Ernest Benn Ltd (1971).
2. F. Singer y S.S. Singer, *Cerámica Industrial*, URMO, Bilbao (1971).
3. R.E. Kirk, and D. Othmer, *Enciclopedia de Tecnología Química*, Unión Tipográfica Ed. Hispano Americana, Madrid (1971).
4. W.E. Worrall, *Clays and Ceramic Raw Materials*, Applied Science Publishers, London (1975).
5. A.F Wells, *Structural Inorganic Chemistry*, 4<sup>th</sup> Ed., Oxford University Press (1984).
6. D.M. Adams, *Inorganic Solids*, John Wiley, New York (1994).



## ALGUNOS ELEMENTOS ESENCIALES ENCONTRADOS EN CÍTRICOS INGERIDOS COTIDIANAMENTE

*Marta Rodríguez Pérez, Mercedes Meijueiro Morosini*  
Departamento de Química Inorgánica, Facultad de Química  
Universidad Nacional Autónoma de México, 04510-México D.F.  
roperez@servidor.unam.mx

*Con la finalidad de favorecer la motivación en el proceso de enseñanza aprendizaje de la Química, se efectúa un experimento en el que los alumnos determinan cualitativamente los iones  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$  en cítricos y así relacionan que a través de la ingesta diaria de alimentos el organismo humano adquiere a los elementos inorgánicos esenciales.*

### 1. OBJETIVO

El objetivo fundamental es que el alumno, al identificar elementos inorgánicos en un producto de su alimentación diaria, se motive a descubrir el papel que desempeñan esos elementos en la constitución de los organismos vivos.

### 2. INTRODUCCIÓN

Actualmente se reconocen como esenciales para los organismos a 27 elementos: 18 elementos representativos (Hidrógeno, Sodio, Potasio, Magnesio, Calcio, Boro, Carbono, Silicio, Nitrógeno, Fósforo, Arsénico, Oxígeno, Azufre, Selenio, Flúor, Cloro, Bromo y Yodo), y 9 elementos transicionales (Vanadio, Cromo, Molibdeno, Manganeso, Hierro, Cobalto, Níquel, Cobre y Zinc). Como puede verse, además de los elementos C, H, N y O, que son constituyentes básicos y característicos de los compuestos orgánicos, todos los demás son elementos típicamente inorgánicos. Todos estos elementos se pueden dividir en tres grandes grupos, de acuerdo a su abundancia en los sistemas biológicos. En el primer grupo, ubicamos a los elementos mayoritarios, que representan más del 98% del peso de un humano adulto e incluye además de los cuatro elementos conocidos como el CHON, a los elementos representativos Na, K, Mg, Ca, Cl, S y P. En el segundo grupo de elementos se incluyen los llamados elementos traza, entre los que encontramos tres metales de transición sumamente importantes (Fe, Zn y Cu) y finalmente, en el tercer grupo, se ubican los elementos llamados micro-traza, cuyas concentraciones son sumamente bajas pero de importancia reconocida (Mo, I y Co).

Los elementos sodio, potasio, magnesio y calcio (1) son los cationes metálicos más abundantes en los tejidos y fluidos biológicos de los mamíferos por su abundancia

se ubican entre los que se han llamado constituyentes mayoritarios. Conjuntamente con otros aniones, como el cloruro, se les puede llamar a veces electrolitos.

Estos metales aparecen vinculados a la constitución de estructura de soporte y protección para los que se requieren, sin duda, cantidades importantes de material. Así, numerosos compuestos de calcio aparecen involucrados, tanto en la formación de tejidos duros, cáscaras, dientes y otros sistemas similares, cuanto en la estabilización de estructuras y membranas. Así mismo, todos estos metales participan también, a través de interacciones electrostáticas y efectos osmóticos, en la estabilización de las conformaciones de muchos sistemas biológicos fundamentales. Por otro lado, la escasa tendencia a la coordinación, una de las características bien conocidas y establecidas de los elementos de estos grupos, puede ser aprovechada por los sistemas biológicos, utilizando la rápida difusión de partículas cargadas a lo largo de canales diseñados para estos fines, como método para la transferencia de información.

Desde el punto de vista de sus propiedades químicas, se encuentra una importante diferencia en los valores del potencial iónico (medido por su relación carga/radio para estos cuatro iones (Na (I) = 0,98, K (I) = 0,72, Mg (II) = 2,78 y Ca (II) = 2,00), lo que también sugiere que, los mismos, difícilmente podrán sustituirse en sus funciones. Los cationes más grandes, dentro de cada grupo, tienen tendencias a presentar números de coordinación mayores de seis y esferas de coordinación menos simétricas que los más pequeños, lo que los hace apropiados para funciones estructurales y conformacionales específicas. Así por ejemplo, diversas enzimas resultan activas una vez que se han unido a K (I) y Ca (II), para adquirir una conformación adecuada. Por otra parte, el fuerte poder polarizante del Mg (II) le imprime una marcada tendencia a unirse a grupos con elevadas cargas negativas, como fosfatos, y a ligantes nitrogenados, mientras que todos los otros cationes muestran marcada preferencia sólo por ligantes oxigenados. Así mismo, y dado que el Ca (II) tiene un potencial iónico bastante menor que el Mg (II), sus reacciones están caracterizadas por cinéticas que son mucho más rápidas que las de aquél y, por lo tanto, el Ca (II) no resulta nunca atrapado en reacciones colaterales secundarias, sin importancia. Este hecho, y su carga neta relativamente alta, permite al calcio moverse muy rápidamente en tejidos. Por tal razón, no resulta extraño que en los organismos superiores los iones Ca (II) desarrollen ciertas funciones de mensajero que transfiere señales entre diferentes células como, por ejemplo, en el proceso de contracción muscular o en la coagulación de la sangre. El Mg (II), por su parte, está asociado, fundamentalmente, a la actividad intracelular y junto con el K(I), es también un importante estabilizador de los ácidos nucleicos.

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Material y equipo**

- Centrífuga,

- 3 tubos de centrifuga,
- balanza,
- parrilla de calentamiento,
- 3 vasos de precipitado de 150 ml,
- espátula,
- 10 tubos de ensayo,
- gradilla para tubos de ensayo,
- 2 embudos de filtración rápida de cuello largo,
- agitador,
- papel de filtro de poro fino,
- colador mediano de plástico.

### 3.2. Reactivos

- Solución 0,1M de  $\text{CaCl}_2$ ,
- Solución 0,1 M de  $\text{MgCl}_2$ ,
- Solución 0,1M de KCl,
- NaOH 1M,
- HCl concentrado,
- Solución al 20% de  $\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ,
- Solución de negro de eriocromo T.

### 3.3. Procedimiento Experimental

Se procede del siguiente modo:

- a) Exprimir una naranja para obtener el jugo y colarlo.
- b) Exprimir una toronja (pomelo) para obtener el jugo y colarlo.
- c) Exprimir una mandarina para obtener el jugo y colarlo.
- d) Centrifugar los jugos durante 10 minutos a 5000 r.p.m..
- e) En 3 tubos de ensayo colocar un ml de las soluciones siguientes:
  - e.1) KCl.
  - e.2)  $\text{CaCl}_2$ .
  - e.3)  $\text{MgCl}_2$ .
- f) Hacer ensayos a la llama con cada una de las soluciones del apartado anterior, para determinar los colores que dan sus cationes.
- g) Reacción para el catión  $\text{Ca}^{2+}$ : al tubo e.2 agregue unas gotas de solución de  $\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4$  (3).
- h) Reacción para el catión  $\text{Mg}^{2+}$ : al tubo e.3 agregue unas gotas de NaOH; el hidróxido se escurre gota a gota por las paredes del tubo sin agitar. Se le agregan unas gotas de Eriocromo negro T para que sea más visible con coloración violeta (3).
- i) Proceda a hacer todos los ensayos anteriores f),g),h) con el jugo de los tres cítricos ya centrifugados y decantados.

### 3.4. Resultados

Los resultados se anotan en la tabla 1.

Tabla 1. *Resultados obtenidos.*

Ión	Jugo de Naranja	Jugo de Toronja	Jugo de Mandarina
Ca <sup>2+</sup>			
Mg <sup>2+</sup>			

### 3.5. Cuestionario

1. ¿Qué otros iones metálicos pueden estar presentes en el jugo de cítricos?.
2. ¿Qué coloración imparte a la llama los iones Ca<sup>2+</sup> y los iones Mg<sup>2+</sup>?
3. Además de las reacciones g) y h) de identificación para Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>, ¿qué otras sugiere usted.

## 4. CONCLUSIONES

La investigación educativa ha revelado que muchas de las dificultades en el aprendizaje y entendimiento de la Química son causadas porque la enseñanza de ella es totalmente académica y no se relaciona de ninguna manera a la Química de la vida cotidiana (2), por lo que en este experimento se utiliza jugo de naranja, toronja (pomelo) y mandarina, que diariamente consumimos, para encontrar a los elementos esenciales en el organismo humano y así motivar al alumno a comprometerse en la construcción de su conocimiento en relación con la Química Inorgánica y la Bioinorgánica.

## REFERENCIAS

1. E. J. Barán, *Química Bioinorgánica*, Ed. Mc-Graw-Hill, Madrid (1994).
2. D. Treagust, R.Duit, M. Nieswandt, *Educación Química*, **2000**, Vol. 11, 228-235.
- 3.M.F. Burriel, *Química Analítica Cualitativa*, Ed. Paraninfo, Madrid (1991).

# LOS POLÍMEROS CONDUCTORES EN NUESTRO DÍA A DÍA

*M<sup>a</sup>. Josefa González Tejera*

Departamento de Química Física I, Facultad de Ciencias Químicas  
Universidad Complutense de Madrid, 28040-Madrid. mjpgonte@quim.ucm.es

*Se introduce el concepto de macromolécula o polímero, así como el de polímero conjugado conductor de la electricidad. Se explica cómo la Electroquímica es la herramienta fundamental para su obtención, caracterización y conocimiento de sus aplicaciones tecnológicas tales como las baterías, las ventanas inteligentes, los músculos artificiales, etc., que pueden formar parte de la vida cotidiana en un futuro no demasiado lejano.*

## 1. INTRODUCCIÓN

En el campo de la Química existen sistemas de enorme interés que, por el tamaño de sus moléculas, se encuentran entre el mundo microscópico y el macroscópico. Me estoy refiriendo a todos aquellos sistemas constituidos por moléculas de gran tamaño y peso molecular elevado denominadas *macromoléculas o polímeros*. Están formadas por repetición de una unidad simple, llamada *monómero*, que se unen entre sí, por enlace covalente, dando lugar a cadenas de tamaño limitado. Estas cadenas son generalmente lineales, pero también pueden ser ramificadas y entrecruzadas.

Por su origen, se pueden clasificar en naturales y sintéticas. A las primeras pertenecen, por ejemplo, las proteínas, los ácidos nucleicos, la lana, el algodón, etc. Los polímeros obtenidos por el hombre, es decir los sintéticos, se pueden dividir a su vez en aislantes, como el nylon y el caucho artificial, y en conductores de la electricidad, que son aquéllos en los que se centrarán estas líneas.

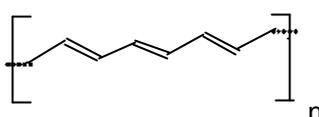
¿Qué estructura interna tienen estas macromoléculas para favorecer el transporte de la corriente eléctrica a lo largo de ellas?

Es conocido que la conducción eléctrica se produce por el movimiento de los electrones a través de los niveles electrónicos de los átomos que constituyen el material conductor, por ejemplo, los metales. Sin embargo, en absoluto son parecidas la estructura electrónica de los polímeros y la de los metales. La cadena principal de los polímeros está formada por átomos de carbono en hibridación tetraédrica que pueden formar anillos, penta o hexagonales, y pueden unirse, a veces, a heteroátomos como el oxígeno, el nitrógeno o el azufre.

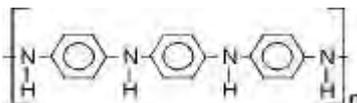
En lo que a los polímeros conductores se refiere (ver figura 1), también llamados polímeros conjugados, igualmente están formados por cadenas carbonadas que, en su distribución electrónica, presentan una alternancia de enlaces sencillos (enlaces  $\sigma$ ) y enlaces dobles (enlaces  $\pi$ ). No se puede decir que los enlaces dobles

tengan una posición fija entre dos átomos de carbono ya que los electrones que lo forman son electrones  $\pi$  y están muy deslocalizados. Forman orbitales moleculares que envuelven las cadenas carbonadas y, por tanto, pueden polarizarse fácilmente. Este hecho provoca la formación de nuevos niveles energéticos electrónicos que, situados entre la banda de valencia y la de conducción, facilitan el paso de los electrones entre ambas bandas y hacen que la cadena carbonada sea conductora de la electricidad y tenga propiedades ópticas peculiares. A ello contribuye el elevado grado de desorden que generalmente tienen sus cadenas.

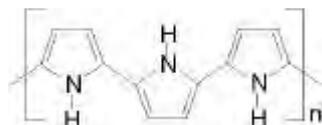
POLIACETILENO (pA)



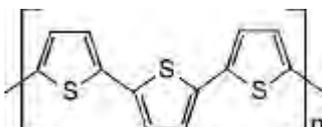
POLIANILINA (pANI)



POLIPIRROL (pPy)



POLITIOFENO (pTh)



POLIFURANO (pFu)

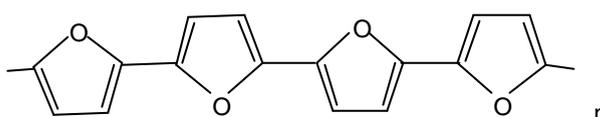


Figura 1. Algunos polímeros conductores eléctricos.

La flexibilidad de los esqueletos carbonados propician que se puedan intercalar iones de diferente tamaño entre ellas dando lugar a lo que se conoce como *dopado* del polímero. Este hecho se explica más detenidamente.

Buena parte de las múltiples aplicaciones que tienen los polímeros conductores se deben a la facilidad con que se obtienen. La parte de la Química Física denominada Electroquímica juega un papel esencial en la síntesis de estos materiales. Basta con preparar un vaso o célula electroquímica que contenga un disolvente (acuoso o no acuoso), un electrolito ( $\text{NaClO}_4$ ,  $\text{LiClO}_4$ ,  $\text{NaNO}_3$ , etc.) y el monómero correspondiente. En este sistema, así montado, se introducen el electrodo de trabajo metálico y los electrodos auxiliares correspondientes, y se hace pasar una corriente eléctrica por medio de un sistema externo (potenciostato). Si el potencial que externamente se manda a la célula es positivo se está provocando la oxidación de los monómeros existentes en la disolución de tal manera que se desencadena el proceso de electropolimerización.

El paso continuo de la corriente eléctrica de oxidación genera cargas positivas en el esqueleto polimérico, que se compensan con los aniones del electrolito, alcanzando así el polímero la electroneutralidad. Estos aniones se acomodan arbitrariamente entre las cadenas dopando al polímero.

Por tanto, se puede decir que el proceso de dopado de un polímero conjugado se basa en un proceso de oxidación-reducción, es decir, un componente cede los electrones que el otro capta.

Así como los polímeros conjugados sin dopar tienen propiedades aislantes, cuya conductividad es del orden de  $1,7 \cdot 10^{-9} \text{ S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , como ocurre en el poliacetileno, cuando está dopado, por ejemplo, con  $\text{I}_2$ , presenta un valor de la conductividad eléctrica de  $10^3 \text{ S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

Este valor, como se muestra en la Figura 2, no sólo está cercano al de la conductividad eléctrica de algunos metales sino que es muy superior al de cualquier otro polímero conocido.

La constatación de este hecho por Shirakawa, Heeger y McDiarmid (Premios Nobel de Química en el año 2000) lanzó al mundo científico al estudio de sus propiedades, al de sus aplicaciones tecnológicas y a buscar sistemas macromoleculares alternativos con propiedades parecidas. En este último punto se encuentran los polímeros conductores obtenidos con monómeros conjugados como el pirrol (Py), tiofeno (Thph), furano (Fu) y anilina (Ani) (véase la Figura 1).

Con respecto a las propiedades físicas y mecánicas del poliacetileno, se constató que eran muy pobres; en parte debido a su falta de estabilidad al aire y a la humedad; razón por la que se ha desarrollado en los últimos treinta años el estudio de la química y de las aplicaciones prácticas de otros sistemas, como ya se ha mencionado. Ambos conocimientos avanzan paralelamente.

Una vez generada la película del polímero sobre el electrodo metálico de trabajo, se puede igualmente estudiar su comportamiento electroquímico en otra célula electroquímica semejante a la utilizada en la síntesis, con el mismo disolvente y electrolito, pero en ausencia de monómero, puesto que la polimerización ya se ha realizado y ahora sólo interesa su estudio y caracterización.

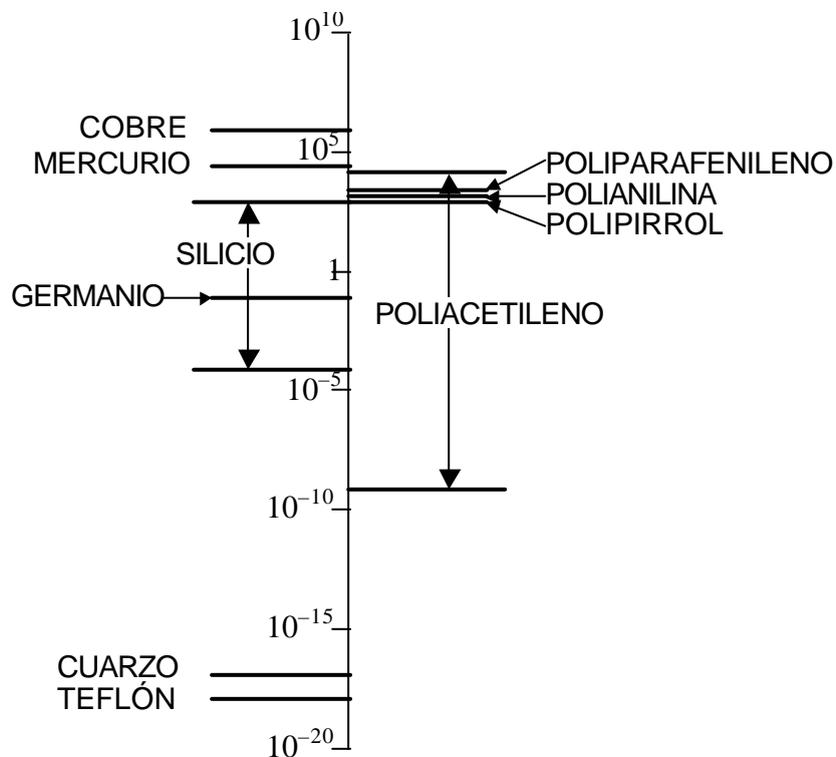


Figura 2. Conductividad (S/cm) de algunos materiales.

Se monta el sistema en el que el electrodo de trabajo está totalmente cubierto por la película polimérica y por medio del circuito externo se le puede aplicar un potencial negativo. Éste provocará la reducción de la película, es decir, la película expulsará al medio electrolítico parte o todos los aniones del electrolito (contraiones) introducidos en su matriz a lo largo del proceso de síntesis y de dopado que son simultáneos. Esta ausencia de cargas en las cadenas hace que se ejerzan fuertes interacciones entre ellas confiriendo al polímero una estructura sólida y compacta. Si en esta situación se provoca el proceso inverso; es decir, se le aplica un potencial positivo, se producirá su oxidación o, lo que es lo mismo, la salida de electrones de la cadena polimérica creando cargas positivas tanto de su interior como en su superficie, dando lugar a repulsiones electrostáticas entre las cadenas. Esto provocará movimientos conformacionales que abren la estructura expandiéndola y aumentando su volumen libre, por tanto. Es en este volumen libre, así generado, en el que pueden incluirse moléculas del contraión y de agua en el supuesto que el medio de trabajo sea acuoso.

Lo más importante a destacar de este comportamiento es que, ambos procesos, el de reducción y el de oxidación, son totalmente reversibles. Esto equivale a decir que

como se puede modificar el potencial aplicado por medio del circuito externo y el tiempo de aplicación, paralelamente se puede tener a voluntad del operario un polímero contraído o expandido más o menos dopado. Esta particularidad ha motivado parte de sus aplicaciones tecnológicas, ya que se dispone de materiales cuya composición y comportamiento se puede modificar electroquímicamente. Por tanto, cualquier propiedad relacionada con la composición se modificará de forma reversible y continua, igualmente.

En estas consideraciones se basa la conductividad eléctrica, el color, la porosidad, la solubilidad, el volumen del material, la carga almacenada, etc. que dan lugar a sus aplicaciones como conductores eléctricos, como materiales con propiedades electroquimiomecánicas, electrocrómicas, como sensores, etc.

## 2. ¿QUÉ SON LAS BATERÍAS BOTÓN?

Las baterías de botón están comercializadas utilizando como componentes tanto el polipirrol (pPy) como la polianilina (PANi). Dada la reversibilidad de los procesos de oxidación/reducción en los electrodos poliméricos, se pueden equiparar con los procesos de carga/descarga en las baterías secundarias. Se han construido baterías usando como ánodo (electrodo donde tiene lugar la oxidación) una lámina de Litio en un disolvente orgánico y como cátodo (electrodo donde tiene lugar la reducción) una lámina de polipirrol o polianilina, como se muestra en la Figura 3.

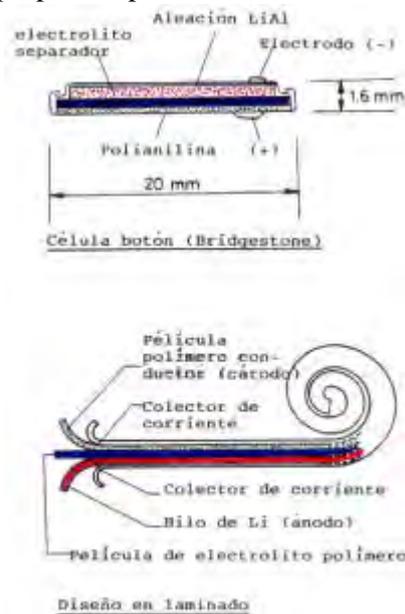


Figura 3. Esquema de pilas de botón.

### 3. ¿QUÉ SON LAS VENTANAS INTELIGENTES?

De la misma manera que algunos seres vivos son capaces, a modo de filtros ópticos, de desarrollar colores externos en su piel en respuesta a las condiciones ambientales de su entorno (colores que están dentro del espectro visible), se ha pensado, por comparación, que la energía requerida para transferir un electrón desde la banda  $\pi$  enlazante a la banda  $\pi^*$  antienlazante de las cadenas poliméricas puede corresponder a un fotón ultravioleta.

Se ha comprobado que, en función del estado redox del polímero, se producen en él cambios de coloración. Por otro lado, como ya se ha indicado, cuando el polímero se oxida, aparecen en su estructura electrónica niveles energéticos nuevos vacíos que acortan la distancia energética existente entre las bandas  $\pi$  y  $\pi^*$ , favoreciendo el tránsito de los electrones a ellos. Estos tránsitos energéticos se producen simplemente por la absorción de la energía de los fotones del espectro visible. Se producen más transiciones cuanto mayor es el estado de oxidación del polímero. Con ello se quiere decir que la absorción de energía del espectro visible puede modificarse en base al estado de oxidación que se imponga desde el exterior.

Así, para construir una ventana con cambios de color, en función de la luminosidad exterior, se utilizan polímeros conductores como el pPy combinado con algunos óxidos metálicos, como el trióxido de wolframio ( $\text{WO}_3$ ) que también cambia de color según su estado de oxidación, como se indica en la tabla 1.

Tabla 1. Colores de pPy y  $\text{WO}_3$ .

	pPy	$\text{WO}_3$
Estado de oxidación	azul oscuro, casi negro	transparente
Estado de reducción	amarillo pálido, transparente	azul oscuro

La ventana está formada por diferentes componentes en sucesivas capas, como son: vidrio, vidrio de óxido de indio y estaño, pPy, un electrolito,  $\text{WO}_3$ , vidrio de óxido de indio y estaño y, por último, otra lámina de vidrio. Se están utilizando para proporcionar iluminación uniforme y constante en edificios, vehículos, aviones, etc.

Los componentes de la ventana están conectados a una célula fotoeléctrica que genera una señal proporcional a la luz que le llega desde el exterior. Si ésta es elevada, la película de pPy es sometida a una corriente de oxidación y la película del óxido a una de reducción. Por tanto, y según la tabla anterior, ambos componentes se oscurecerán y la luz del recinto disminuirá. En este momento, la corriente generada por la fotocélula irá disminuyendo. Cuando se aproxima el atardecer, como la célula fotoeléctrica no ha mandado corriente el polímero estará totalmente reducido, se volverá transparente, y el óxido totalmente oxidado que será igualmente transparente y la ventana dejará pasar la luminosidad del exterior.

Como la corriente de la célula ha decrecido, al haber menor luminosidad, entrará en funcionamiento el circuito de iluminación eléctrica instalado en conexión con la célula fotoeléctrica, y la luz del recinto se encenderá. De esta forma se mantiene la luminosidad del recinto constante.

#### **4. ¿SE PUEDEN IMITAR LOS SISTEMAS BIOLÓGICOS?**

El desarrollo tecnológico actual, en los comienzos del siglo XXI, ha permitido reproducir las microestructuras de algunos materiales naturales con materiales sintéticos. Se trata de biomateriales capaces de reparar y sustituir huesos, tendones, válvulas, arterias, etc. En la misma línea, se está trabajando para sustituir músculos, nervios, glándulas y la piel, por medio de polímeros conductores.

También se ha explicado anteriormente que, por estimulación electroquímica, los polímeros conductores pueden tener variaciones conformacionales de sus cadenas poliméricas, provocando que el volumen de las mismas aumente con un estiramiento al estar en el estado oxidado, o disminuya cuando está en estado reducido, a semejanza con los movimientos realizados por los músculos de los seres del mundo animal. Éstos se pueden considerar dispositivos electroquímico-mecánicos, puesto que reciben el pulso eléctrico generado por el cerebro. Este estímulo pasa a los nervios y lo transforman en energía mecánica capaz de producir un movimiento. En la actualidad, estas mismas etapas se ha conseguido reproducir con un polímero conductor como el polipirrol en el laboratorio de Electroquímica de la Universidad del País Vasco dirigido por el Prof. Otero (1). El cambio de volumen, y por tanto el movimiento de la película polimérica, está en función de los procesos redox que se provocan en el polímero conductor. Por tanto, pueden ser detenidos, acelerados o invertidos en cualquier momento, según se actúe sobre el flujo de corriente que pasa por el sistema. Es decir, se detenga, se aumente o se disminuya.

A lo largo de estas líneas se ha pretendido dar una visión del enorme avance que en tres décadas han tenido los polímeros conductores, no sólo en el conocimiento de su estructura, para explicar su conductividad eléctrica, sino en el de sus potenciales aplicaciones tecnológicas. Con respecto a éstas el reto está lanzado para que a medida que el siglo XXI avanza se vayan consiguiendo, perfeccionando y postulando nuevas posibilidades.

#### **REFERENCIAS**

1. T. F. Otero. *XIV Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Electroquímica (SIBAE)*, Oaxaca (México) (2000).



## IMPORTANCIA DEL BUEN USO Y MANEJO DE LOS PRODUCTOS QUÍMICOS EN EL HOGAR

*Guillermina Salazar Vela, Consuelo García Manrique*

Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México  
Delegación Coyoacán, Ciudad Universitaria s/n, 04510-México D.F.  
cgarcía@servidor.unam.mx

*En este trabajo se propone, que la enseñanza de la Química Cotidiana se inicie desde el nivel básico y, de manera gradual, se continúe en los niveles medio y medio superior, haciendo énfasis sobre la importancia que tiene esta Ciencia en cuanto a los productos que pone a nuestro alcance, para crearnos una vida cómoda en relación con nuestra salud, alimentación, vestido, vivienda, aseo, etc. y lograr que el estudiante entienda la trascendencia que tiene el buen uso, manejo y almacenaje de los productos utilizados en el hogar.*

### 1. ANTECEDENTES

En México, como en algunos otros países, los productos químicos utilizados en el hogar son de gran ayuda en la vida diaria, principalmente para las amas de casa, permitiendo rodear a la familia de una serie de comodidades en relación con la limpieza, alimentación y principalmente salud. No obstante, el mal uso e incorrecto almacenaje que se hace de ellos ha propiciado el que se produzcan accidentes y que se escuche con frecuencia que su uso está contribuyendo al deterioro del ambiente que nos rodea: que los propelentes han contribuido a la pérdida de la capa de ozono de la atmósfera, la cual nos protege de las radiaciones UV; que los detergentes han terminado con la vida de peces en los ríos cercanos a las zonas urbanas; que se ha detectado la presencia de insecticidas en productos lácteos comerciales; y así, podríamos continuar citando casos cuya problemática es real y seriamente preocupante.

Para colaborar de manera responsable a la solución de estos problemas, es necesario dar importancia a la enseñanza de la Química Cotidiana “ethosquímica” lo cual permitirá hacer el estudio de esta Ciencia más atractivo, se comprenderá lo importante que es su conocimiento en la previsión de riesgos y evitará el deterioro de la imagen de la Química ante la sociedad. Porque, si bien son ciertos estos problemas, también es verdad que los insecticidas han colaborado a la erradicación de enfermedades como la malaria y a elevar la calidad de productos agrícolas, que los tetrafluorocarbonos marcaron pautas en la industria de la refrigeración, que los detergentes son insustituibles en el área de la limpieza, que la constante investigación en la producción de cada uno de estos compuestos ha permitido encontrar estructuras

químicas de insecticidas menos agresivos, al igual que de los fluorocarbonos, y que actualmente se fabrican detergentes biodegradables.

## 2. LA QUÍMICA Y NUESTRO ENTORNO

En la siguiente tabla, se citan algunos de los productos usados con mayor frecuencia en el hogar y los diferentes compuestos químicos que se utilizan en su fabricación. Como se podrá observar todos ellos son tóxicos y algunos de ellos además, inflamables. Esto nos permitirá tomar las medidas de protección convenientes al utilizarlos.

Tabla 1. *Composición química de productos usados en el hogar.*

PRODUCTO	COMPOSICIÓN QUÍMICA
Ácidos	Acético, clorhídrico, sulfúrico
Aromatizantes	$\alpha$ -pireno y soluciones en diferentes disolventes de ésteres orgánicos
Bactericidas	Yodo, cloro, hipocloritos alcalinos, paradiclorobenceno y sus derivados
Blanqueadores	Hipocloritos alcalinos
Ceras	Hidrocarburos derivados del petróleo
Compuestos alcalinos	Hidróxido de sodio e hidróxido de calcio
Detergentes	Alquilbencénsulfonatos de sodio
Disolventes	Gasolina, aguarrás, <i>thinner</i> , acetona y alcohol
Fertilizantes	Urea, sales de amonio (nitrato y sulfato), nitrato de sodio y sales de cobre
Fósforos	Fósforo rojo
Insecticidas	DDT, cafeína, organofosfatos, carbamatos, piretrinas y feromonas
Jabones	Sales de sodio, potasio o amonio de ésteres orgánicos de elevado peso molecular

Ahora bien, enterarse del costo de un producto químico de uso cotidiano, en relación con la cantidad y calidad que se está adquiriendo, es importante para la economía del hogar, pero no es de menor importancia el hacer la diferencia entre un producto orgánico e inorgánico, el conocer si es biodegradable o no, o si su envase es reciclable, conceptos cuyo conocimiento nos permitirán hacer una correcta clasificación cuando tengamos que eliminar sus desechos y contribuir de esa forma a evitar la contaminación de nuestro entorno.

Otros aspectos importantes que tenemos que considerar en el proceso enseñanza-aprendizaje relacionados con el manejo de los productos en el hogar son por ejemplo:

- El uso correcto de productos cáusticos, como NaOH, que se usan para la limpieza de la estufa o para destapar tubos de desagüe en casa.
- Conocer las cantidades que se deben adicionar de un blanqueador (hipoclorito de sodio) durante la limpieza de la ropa, de tal forma que éste no reduzca la vida útil de las prendas.
- Hacer uso de productos biodegradables que, aunque su costo sea ligeramente alto, finalmente ayudan a evitar la contaminación del medio ambiente y favorecen la supervivencia de los seres vivos.
- Tener para uso cotidiano en el hogar las cantidades mínimas necesarias de productos, ya que un exceso de ellos representa un peligro por su toxicidad e inflamabilidad. Por ejemplo, los disolventes que se utilizan en múltiples ocasiones en la limpieza de telas, disolución de grasas y barnices, etc.
- Cuidar de clasificar y etiquetar esos productos de manera ordenada y de acuerdo a su peligrosidad y no dejarlos al alcance de los niños.
- Entender que, siempre que tengamos que eliminar un producto como desecho al drenaje, a la basura o al aire libre, debemos hacerlo de manera consciente de no contaminar y, si se ignora, tratar de consultar a personas autorizadas sobre la forma más adecuada de hacerlo.
- Utilizar productos que no contengan propelentes que dañen la capa de ozono, recomendándose de preferencia atomizadores por presión manual.

### 3. LA QUÍMICA Y SU ENSEÑANZA

La enseñanza de una ciencia química formal debe tener como objetivo formar futuros científicos que colaboren a la previsión de problemas, a encontrar vías para prolongar, mejorar la vida del ser humano y dar solución a los problemas ya creados, pero aunado a lo anterior, y apegado a la realidad, es educar de manera que cada joven estudiante tome la iniciativa de colaborar en la prevención de problemas mediante el desarrollo consciente de buenos hábitos, como el uso correcto del agua, de la energía, de los productos químicos de uso cotidiano y procurando que estos conocimientos trasciendan a sus respectivas familias.

Es conveniente educar a las nuevas generaciones con costumbres y actitudes que les permitan prever la creación de problemas como accidentes en el hogar, contaminación ambiental, etc., y evitar tener que remediarlos una vez generados, lo cual resulta complicado y costoso en diferentes aspectos. Para ello, sería recomendable diseñar programas de enseñanza, para niveles básicos, medio y medio superior en los que se incluyan temas de química cotidiana que, por una parte, como ya se mencionó, hagan atractivo el estudio de esta Ciencia, comprendiendo su importancia y utilidad y, por otra parte, ayuden a crear una cultura de prevención para mejores formas de vida futura.

En este punto, no podemos soslayar la importancia de la intervención de las autoridades encargadas de supervisar la producción y comercialización de compuestos de uso cotidiano, exigiendo a los productores cumplan con las normas de control de calidad y especificación en el etiquetado de sus bondades y cuidado que se debe de tener al utilizarlos, así como las precauciones que deben observarse al eliminar residuos o envases.

#### 4. CONCLUSIONES

De acuerdo al contenido del presente trabajo, consideramos de suma importancia la enseñanza de la Química y su relación en la vida cotidiana desde niveles básicos, con el propósito de crear una cultura que permita a los niños y adolescentes familiarizarse con el buen uso, manejo y almacenamiento de productos químicos así como las formas correctas de eliminación de los desechos generados por el uso de estos productos.

Este tipo de educación, en niños y adolescentes, debe ser planeada de tal forma que sea transmitida hacia las comunidades de donde provienen con la finalidad de que aquellas personas que no tuvieron oportunidad de adquirir estos conocimientos los puedan hacer suyos.

Finalmente consideramos que si a las nuevas generaciones se les concienta de la importancia de la ciencia química en su vida diaria, su actuación futura, como ciudadanos y posibles gobernantes, pueda determinar una mejor perspectiva de vida.

#### REFERENCIAS

1. M.R. Jiménez-Liso, M.A. Sánchez y E. de Manuel, *Revista Educación Química*, **2002**, Vol. 13, (4), 259-266.
2. *Programas Curriculares de Química III y IV de Nivel Bachillerato de la Escuela Nacional Preparatoria*. Universidad Nacional Autónoma de México, México (2002).
3. Alliger, Cava, De Jongh, Johnson, Lebel, Stevens, *Química Orgánica*, Ed. Reverté, México (1975).
4. A. Garritz, J.A. Chamizo, J.A. López-Tercero, *Tú y la Química*, Ed. Prentice-Hall, México (2001).

## EL CLORO EN LA VIDA COTIDIANA

*Mateo Jaume*

Asociación Nacional de Electroquímica, Paseo de Recoletos 27, 28001-Madrid  
www.cloro.info

### 1. EL CLORO AL NATURAL

El cloro es uno de los elementos más comunes en la naturaleza: constituye el 3% de los océanos y el 0,05% de la corteza terrestre, lo que le coloca en el undécimo lugar entre los elementos más abundantes. En su estado “normal”, es un gas amarillo verdoso que a  $-34\text{ }^{\circ}\text{C}$  se vuelve líquido (1).

La vida misma depende del cloro y de su cualidad para reaccionar con otros compuestos orgánicos existentes en el medio ambiente, produciendo compuestos organoclorados naturales, de los cuales se han identificado más de 1.800 que surgen espontáneamente en los océanos, incendios forestales y volcanes, y en organismos vivos como en bacterias, hongos y plantas. Algunos de estos compuestos poseen propiedades antibacterianas y anticancerígenas, otros tienen propiedades sorprendentes: el ejemplo más curioso quizá sea el de la rana ecuatoriana de San Antonio que produce un alcaloide clorado con propiedades analgésicas mucho más fuertes que la morfina.

En los seres humanos el cloro es el décimo elemento más abundante de los 15 que forman el 99,5% del cuerpo. De hecho, la sangre, la piel y los dientes lo contienen, y está presente en forma de ácido clorhídrico en nuestro sistema digestivo. Incluso los leucocitos de la sangre necesitan cloro para combatir las infecciones.

### 2. PRINCIPALES APLICACIONES DEL CLORO

El cloro es esencial para el mantenimiento de la calidad de vida de la sociedad moderna: es imprescindible en el tratamiento y la potabilización del agua y en la prevención y combate de enfermedades infecciosas. También, es la materia básica para la fabricación de buena parte de los productos que utilizamos en nuestra actividad diaria.

#### 2.1. La potabilización del agua, su contribución más importante

El cloro actúa como un potente desinfectante cuando se utiliza solo o en forma de hipoclorito sódico. Añadido al agua en cantidades muy bajas destruye rápidamente las bacterias y otros microbios, con lo que garantiza su potabilidad y ayuda a eliminar sabores y olores y a prevenir enfermedades.

En Europa, la lejía (hipoclorito sódico) se usó por primera vez para desinfectar el agua corriente en 1897. Fue en Maidstone, Kent (Reino Unido), para combatir un brote de tifus y, desde entonces, los desinfectantes basados en cloro han ayudado a asegurar que el agua que bebemos esté en perfectas condiciones para la salud y libre de bacterias, virus y otros microorganismos. En la actualidad, el 98% del suministro de agua potable de Europa occidental depende de la cloración y permite que los europeos podamos beber sin riesgo alrededor de 400 millones de vasos de agua del grifo cada día (1).

La misma Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda el cloro como el medio más eficaz y barato de potabilizar el agua y, por lo tanto, de prevenir las enfermedades asociadas al líquido elemento. Según este organismo el cloro no sólo ha permitido controlar un gran número de enfermedades infecciosas sino que también ha contribuido a incrementar considerablemente la esperanza vida de la humanidad (1,2). Los cálculos más recientes estiman que la cloración del agua en Europa ha sido clave para que la esperanza de vida haya pasado de los 45 años de principios del siglo XX a los 76 años actuales.

A pesar de ello, todavía hoy una quinta parte de la población mundial no tiene acceso al agua potable y más de un tercio la tiene en unas condiciones sanitarias muy deficientes. Se estima que el 80% de las enfermedades se transmiten por el agua y que el cloro es fundamental para erradicar epidemias tan devastadoras como el tifus, el cólera y la diarrea, que son las responsables de que cada año mueran entre 3 y 4 millones de personas y que han causado más muertes en la historia que todas las guerras juntas (3).

Por sus cualidades persistentes, el cloro es el único producto que garantiza la salubridad del agua corriente en todo su recorrido, desde que sale del depósito hasta que llega al grifo, a través de tuberías subterráneas que pueden estar agrietadas, tener moho y algas en su interior o contener vegetales en descomposición. Otros productos, como el ozono, la radiación ultravioleta y la ultra filtración, son efectivos para la desinfección de contaminantes en el punto de tratamiento pero no ofrecen garantías de persistencia para mantener el agua libre de gérmenes hasta su consumo.

Con la cloración, además, se elimina el sabor y mal olor de las algas y la vegetación en estado de descomposición que puede contener el agua y se controla la proliferación de microorganismos que tienden a crecer en las paredes de las tuberías y los depósitos.

## **2.2. El más eficaz y usado en la piscina**

Bajo diferentes formas, como hipoclorito, en pastillas, granulado, etc., también en las piscinas y balnearios el cloro es el producto más utilizado y más eficaz para mantener el agua limpia y en óptimas condiciones sanitarias, ya que al mismo tiempo que elimina bacterias, virus, hongos y algas, protege a los bañistas contra

enfermedades infecciosas como la gastroenteritis, dermatitis, pie de atleta y les previene de tener infecciones en los oídos.

A menudo, los beneficios que aporta el cloro se ven ensombrecidos por la existencia de incidentes relacionados con este producto. Frecuentemente, el origen de estos incidentes se localiza en los errores humanos cometidos en las operaciones de manipulación o dosificación del cloro. Para evitar incidentes de este tipo, organizaciones como A.N.E. y Eurochlor (3) realizan campañas informativas dirigidas a los técnicos y operarios de mantenimiento de piscinas e instalaciones deportivas.

### **2.3. Indispensable para la sanidad**

Gran parte de los avances médicos de los últimos tiempos se deben a la aplicación del cloro en la fabricación de medicamentos y de utensilios médicos, además del aprovechamiento de sus propiedades como desinfectante. Desde que se usó por primera vez en la maternidad de un hospital de Viena, hace ya más de 150 años, el cloro sigue siendo una potente arma contra mortíferas infecciones provocadas por virus y bacterias (3).

Hoy en día, el cloro interviene en la producción del 85% de los medicamentos, entre éstos se incluyen principios activos para el tratamiento del SIDA, el cáncer, la neumonía, las enfermedades del corazón, la artritis, la diabetes, las infecciones, la hipertensión, las alergias, la depresión y las úlceras.

Asimismo, el 25% de los utensilios utilizados en medicina, como bolsas de sangre, tubos estériles, catéteres, protésicos y radiografías, están hechos con plástico PVC fabricado con cloro

Por sus cualidades antisépticas, se usa en forma de lejía y otros derivados para desinfectar los instrumentos quirúrgicos y las instalaciones médicas y para prevenir la las infecciones de las heridas, la propagación de la “enfermedad del legionario” o legionela, y otras.

### **2.4. En la prevención de la legionela**

La legionela es una infección causada por la bacteria *Legionella pneumophila*, que afecta a los pulmones. Se identificó por primera vez en el año 1976, durante una convención de *la American Legion* en Pennsylvania, cuando resultaron infectadas 220 personas, 34 de las cuales fallecieron.

Aunque está muy extendida en la naturaleza, en la tierra, ríos y lagos, la legionela normalmente no es peligrosa para el hombre, excepto si se inhala. Entonces puede llegar a ser mortífera sobre todo entre los colectivos de riesgo: personas mayores, fumadoras o con un delicado estado de salud.

En Europa, la epidemia más grave de legionela se dio en 1999, cuando causó 200 muertes e infectó a 2.136 personas, casi la mitad de las cuales procedían de Francia y España y, en menor medida, de Italia y los Países Bajos (1).

Las buenas prácticas en el manejo y mantenimiento de los aparatos de aire acondicionado, así como el correcto tratamiento de los sistemas de agua pueden reducir de manera efectiva los casos de legionela. Un estudio publicado en la prestigiosa publicación médica *The Lancet* concluyó que los desinfectantes clorados son el método más económico y efectivo para controlar la legionela tanto en las instalaciones municipales como en los centros hospitalarios (4).

## **2.5. Producto básico para la industria química**

Por su naturaleza reactiva, el cloro puede interactuar con otros elementos químicos, para formar sustancias que intervienen en los procesos de fabricación del 60% de los productos de química básica y en el 40% de los plásticos, si no siempre aparece en los productos finales, como en el caso de los plásticos de poliuretano y policarbonato que, por su versatilidad, ligereza, capacidad de adaptación, resistencia, durabilidad y ahorro de energía, se utilizan en la fabricación de un amplio abanico de productos en el sector electrónico, de embalajes, la automoción, la construcción, etc.

## **3. PRESENCIA EN LA VIDA DIARIA**

Las numerosas aplicaciones industriales del cloro hacen que esté presente, de forma directa o indirecta, en muchos de los productos de consumo. Una serie de ejemplos ilustran sobre la presencia del cloro en nuestra vida diaria:

### **3.1. Sanidad y seguridad públicas**

El cloro desinfecta los suministros públicos de agua dañados por desastres naturales, como inundaciones, tornados y terremotos.

Equipos de protección empleados por la policía, servicios de bomberos y ambulancias, tales como chalecos antibalas, máscaras y cascos, se fabrican con materiales derivados del cloro.

### **3.2. Tecnología**

Equipos de comunicación y componentes usados por servicios de emergencia, como radios, teléfonos móviles y microprocesadores, también están fabricados con materiales derivados del cloro.

### **3.3. Automóvil**

El cloro interviene en la fabricación de *nylon* para los cinturones de seguridad y *airbags*, parachoques, alfombrillas, salpicaderos, anticongelantes, etc. El uso de cloro para la obtención de materias plásticas, utilizadas como accesorios en el interior

de los vehículos, ha servido para reducir el peso de los automóviles y, por tanto, el consumo de energía.

### **3.4. Construcción**

Productos derivados de la química del cloro se utilizan en la construcción de viviendas, en la fabricación de marcos y tuberías de PVC, hormigón, aislamientos, adhesivos, pinturas y moquetas.

### **3.5. Productos de consumo**

Entre los productos de consumo se emplean derivados del cloro para producir artículos de tocador y cosméticos, lentes de contacto, ordenadores, televisores y discos compactos.

### **3.6. Agricultura**

Aproximadamente, el 96% de los productos químicos empleados en estimulación y protección de cultivos está hecho a partir del cloro. Productos que permiten multiplicar las cosechas para poder atender a las necesidades alimentarias de un creciente número de personas.

### **3.7. Actividades de ocio**

En muchas actividades de ocio se utilizan artículos fabricados con cloro: balones de fútbol, tiendas de campaña, prendas impermeables, monopatines, raquetas de tenis y esquí, entre otros.

## **REFERENCIAS**

1. Euro Chlor – A.N.E., *Datos Clave sobre el Cloro*, Euro Chlor, December (2001).
2. S.M. Hopkin and J.C. Ellis, *Drinking water consumption in Great Britain: a survey of drinking water habits with special reference to tap-water-based beverages*. Technical Report 137, WaterResearch Centre, Wiltshire, UK (1980).
3. W.H.O. *Guidelines for Drinking Water Quality*, Vol. 1, World Health Organisation, Geneva (1993).
4. G.C. White, *Chlorination of Potable Water. The Handbook of Chlorination*, Von Nostrand Reinhold, New York (1986), 256-393 .
5. H. Galal-Gorchev, *Pure & Appl. Chem.*, **1996**, Vol. 68 (9), 1731-1735.
6. Euro Chlor, 1998, 1999. *Safe use of chlorine at swimming pools. Euro Chlor GEST report 94/206, November 1998 and Safe use of sodium hypochlorite in swimming pools*. Euro Chlor GEST report 96/128 August (1999).

7. World Chlorine Council, *Chlorine Chemistry's Role in Our Daily Lives*, April (2002).
8. W.H.O., *Weekly epidemiological record*, October (2000), 27<sup>th</sup> year, n°. 43, 345-352.
9. J.L. Kool, J.C. Carpenter, B.S. Fields, B.S., *The Lancet*, **1999**, Vol. 353, 272-277.

## **POLÍMEROS: UNA PROPUESTA DIDÁCTICA**

***Juan A. Llorens Molina, Rafael Llopis Castelló***

Escuela Técnica Superior del Medio Rural y Enología  
Universidad Politécnica de Valencia, Avenida Vicente Blasco Ibáñez 21  
46010-Valencia. juallom2@qim.upv.es.

*El objetivo de este texto es presentar diferentes experiencias innovadoras para la incorporación del estudio de los polímeros en el aprendizaje de la Química básica y en actividades extracurriculares de divulgación científica.*

### **1. EL ESTUDIO DE LOS POLÍMEROS EN UNA APROXIMACIÓN A LA QUÍMICA DESDE LA REALIDAD COTIDIANA**

Una de las principales características que todavía siguen teniendo los cursos de iniciación a la Química, aún en los niveles curriculares más básicos, es su excesivo carácter propedéutico. Su finalidad esencial parece ser la construcción, lo más rápida posible, del edificio conceptual sobre el que descansan los temas tradicionales que son objeto de estudio en niveles superiores.

Sin embargo, si admitimos que el objetivo básico del aprendizaje de la Química es la descripción y explicación de la naturaleza de la materia y de sus transformaciones, es evidente que su estudio no puede plantearse al margen de esa realidad material que forma parte de nuestra vida cotidiana. Esta reflexión no sería válida exclusivamente desde el punto de vista de la formación integral de la persona, lo que podría limitar su pertinencia a los niveles educativos obligatorios, sino también desde una educación para una sociedad caracterizada por el desarrollo tecnológico, lo cual nos llevaría a aceptar que la referencia al entorno cotidiano ha de ser también considerada en la Enseñanza Superior.

Esta inquietud por insertar el aprendizaje de las ciencias en su contexto social y tecnológico ha sido objeto de creciente atención desde la Didáctica, valorando las relaciones Ciencia-Técnica-Sociedad como uno de los principales ejes vertebradores de los currícula (1,2). Dentro de la enseñanza de la Química podemos citar diferentes intentos en este sentido, como el proyecto *Salter's Advanced Chemistry* (3).

Por nuestra parte, consideramos que una de las formas de contribuir a una enseñanza de la Química más próxima a la vida cotidiana y a los intereses del alumnado es la producción de materiales que puedan incorporarse a la práctica docente y que se caractericen por su elevada capacidad de adaptación, su diversidad metodológica y por su pertinencia, conjugando actualidad e interés, con la necesaria vinculación a los contenidos de los programas oficiales. Al mismo tiempo, consideramos también que las actividades extracurriculares también deben ser objeto de atención desde el ámbito científico.

En este sentido, hemos realizado, durante los últimos años, diferentes experiencias de innovación centradas en diferentes aspectos de la Química como: polímeros, cosmética y corrosión del acero, aplicadas en diferentes contextos y con distintos enfoques:

- Asignatura optativa de Técnicas de Laboratorio en E.S.O.
- Talleres para alumnos de Bachillerato dentro de la programación de actividades culturales.
- Seminarios dentro de los programas de Química General y Fundamentos Químicos de la Ingeniería, en el primer curso de Ingeniería Técnica Agrícola.

El objetivo de este trabajo es describir las aportaciones realizadas en estas actividades acerca de los polímeros.

## **2. ¿QUÉ APORTA EL ESTUDIO DE LOS POLÍMEROS A UNA APROXIMACIÓN A LA QUÍMICA DESDE LA REALIDAD COTIDIANA?**

### **2.1. Desde un punto de vista conceptual**

No deja de ser paradójico el hecho de que los polímeros, que constituyen la base de una gran parte de los materiales de nuestro entorno cotidiano, estén ausentes del estudio de la Química hasta la Enseñanza Superior, con alguna sumaria referencia, a veces, en el segundo curso de bachillerato. Sin embargo, multitud de sustancias desconocidas y completamente ajenas a la vida cotidiana son objeto de estudio desde los primeros cursos. Esto es comprensible y no vamos a discutir, por supuesto, la conveniencia de recurrir a ejemplos tradicionales que, por su sencillez, ilustran de manera clara y eficaz la introducción de determinados conceptos.

Sin embargo, creemos que existen ciertos problemas en la introducción de los conceptos básicos de Química donde la referencia a los polímeros puede contribuir a dar una visión más rigurosa, y a la vez eficaz, de la estructura de las sustancias, contribuyendo a resolver uno de los problemas más citados en la bibliografía: la dificultad para coordinar los ámbitos microscópico (estructura) y macroscópico (propiedades) en el estudio de la materia (4). Cabe citar, por ejemplo, las limitaciones de la introducción tradicional al enlace químico a través de la excesiva simplificación que supone relacionar las propiedades de las sustancias con el tipo de enlace: iónico, covalente molecular, sólido covalente o metálico (5,6). La aproximación a la estructura de la materia puede ser matizada y enriquecida a través del estudio de las relaciones entre estructura y propiedades en los polímeros (7). El hecho de que estos materiales sean tan diversos y versátiles en sus propiedades obliga a explicar las propiedades de los materiales en términos más generales. Consideremos por ejemplo los casos siguientes:

a. Existen polímeros tan blandos como algunos tipos de polietileno y otros tan duros y elásticos como el acero (Kevlar).

b. La inmensa mayoría de los polímeros son insolubles en agua y muchos se utilizan en canalizaciones (PVC, PP, etc.), pero existe el polietenol, soluble en agua.

c. Los polímeros son materiales habitualmente aislantes eléctricos y de hecho algunos como el PVC se emplean con tal finalidad, sin embargo hay polímeros conductores como el polipirrol.

Explicar las propiedades de los polímeros nos lleva a huir de generalizaciones, muchas veces inadecuadas e innecesarias, y vincular las propiedades a características estructurales de las sustancias, por ejemplo, la solubilidad en agua con la presencia de grupos polares o fácilmente ionizables.

De este modo, se plantea la necesidad de introducir las fuerzas intermoleculares, no como un mero apéndice o complemento en el estudio del enlace químico, sino desde un rango similar ya que, en definitiva, su influencia en las propiedades de los materiales, al menos en las físicas, es tan decisiva o más que la de los enlaces químicos.

Otra aportación conceptual del estudio de los polímeros, importante desde una perspectiva tecnológica, puede ser el hecho de que sus propiedades no dependen solamente de su naturaleza química (de hecho, en muchas propiedades la influencia es más bien poca) sino de factores relacionados con los procesos de fabricación (no hay más que comparar las múltiples presentaciones de materiales como el poliestireno). En este sentido es muy ilustrativo el hecho de que las propiedades deseables en un material no se alcanzan tan solo (ni mucho menos) a través de su composición química, sino a través de aditivos, empleando copolímeros, mezclas (el poliéster reforzado con fibra de vidrio, por ejemplo), etc.

## **2.2. Desde el punto de vista de las relaciones Ciencia-Técnica-Sociedad**

Desde el punto de vista de las relaciones C-T-S, es todavía más clara la necesidad de incorporar los polímeros en los currícula de Química. Algunas razones serían:

a. Como ya hemos indicado, gran parte de los objetos que forman parte de nuestra vida cotidiana son polímeros. Ello bastaría para justificar su estudio, pero hay más: con los avances actuales hablar del “plástico” ya no tiene sentido pues los múltiples campos de aplicación de los polímeros, su gran diversidad e, incluso, algunas características más específicas como su posible impacto medioambiental, nos obligan, aún en el lenguaje cotidiano, a distinguir, al menos, los más utilizados.

b. Su desarrollo constituye un ejemplo notorio de las interrelaciones entre factores sociales y económicos y los avances científicos y tecnológicos (pensemos, por ejemplo, en la evolución de la industria petroquímica al tener que hacer frente a la creciente demanda de monómeros como el etileno o el propileno, o en el desarrollo de los diversos tipos de caucho sintético en función de la mayor o menor disponibilidad del caucho natural como materia prima). El estudio de los polímeros también proporciona ejemplos notables de cómo la investigación básica es esencial en el

progreso tecnológico (como es patente, por ejemplo, en las contribuciones de la Química de Coordinación a la obtención de catalizadores como los de Ziegler y Natta, capaces de revolucionar la industria de los polímeros)

c. También proporcionan los polímeros importantes elementos de reflexión desde una perspectiva ecológica. Problemas como su degradación, eliminación o reciclaje a partir de los residuos urbanos son de gran actualidad y en su resolución se producen continuos avances. También es relevante, en este sentido, el hecho de que la materia prima para su fabricación (el petróleo), es un producto agotable y problemático desde el punto de vista geoestratégico, que utilizamos en gran parte como combustible, produciendo además un grave impacto medioambiental a través de la contaminación atmosférica.

### **3. UNA PROPUESTA DIDÁCTICA PARA LA INTRODUCCIÓN DE LOS POLÍMEROS EN LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA**

El objetivo de este trabajo es presentar diferentes experiencias innovadoras para la incorporación del estudio de los polímeros en el aprendizaje de la Química básica y en actividades extracurriculares de divulgación científica. Los materiales didácticos elaborados constan de:

a. Presentación teórica y programa de actividades en formato “power-point” junto con carpeta de documentos. Los aspectos abordados son:

- Conceptos básicos
- Revisión de las fuerzas intermoleculares.
- Relaciones entre enlace, estructura y propiedades de importancia tecnológica.
- Síntesis química.
- Los polímeros en la vida cotidiana. Principales tipos de polímeros.

b. Carpeta de textos para comentar.

c. “Webquests” monográficas sobre aspectos específicos del uso de polímeros (concretamente: “Polímeros en Agricultura”).

d. Trabajos prácticos, algunos de ellos planteados como pequeñas investigaciones.

Estos trabajos experimentales constituyen la parte tal vez más innovadora de nuestra propuesta. Pasamos a detallarlos:

d.1. Aspectos relacionados con su naturaleza y síntesis química:

- Naturaleza de los polímeros de adición: Comparación del comportamiento del estireno y poliestireno frente a la adición de  $\text{Br}_2$ .
- Polímeros de condensación: obtención del nilón y de la resina urea-formaldehído.
- Actividades con modelos moleculares.

d.2. Relación entre estructura y propiedades:

- Temperatura de transición vítrea y propiedades mecánicas.
  - Obtención de un gel de polietenol.
  - Aspectos termodinámicos en el comportamiento de los elastómeros.
  - Memoria termoplástica.
  - Obtención y discusión de diagramas tensión-deformación para distintos materiales. Aplicación a problemas cotidianos como la selección del material más adecuado para una bolsa de la compra.
- d.3. Técnicas sencillas para el reconocimiento de polímeros:
- Reconocimiento por combustión.
  - Reconocimiento por diferentes propiedades físicas.
  - Reconocimiento por diferencias de densidad.
- d.4. Empleo en la vida cotidiana:
- Estudio sobre la proporción relativa de los diferentes tipos de polímeros en los residuos domésticos.
- Seguidamente se proponen dos trabajos experimentales.

#### 4. FABRICACIÓN DEL NILÓN

Un nilón (poliamida) se fabrica, a partir de sus monómeros, mediante la polimerización por condensación. El siguiente experimento permite obtener rápida y fácilmente una fibra de este polímero.

##### 4.1. Material y reactivos

- Vaso de precipitados de 25 cm<sup>3</sup>.
- Dicloruro de decanodioilo (5 cm<sup>3</sup> de disolución al 5% en ciclohexano).
- 1,6-diaminohexano (5 cm<sup>3</sup> de disolución al 5% en carbonato de sodio 0,5 mol/dm<sup>3</sup>).
- Varilla de vidrio o tubo de ensayo.
- Pinzas.
- Acceso a vitrina de gases.
- Guantes desechables.

##### 4.2. Procedimiento

1. Poner 5 cm<sup>3</sup>, aproximadamente, de disolución de 1,6-diaminohexano en el vaso de precipitados de 25 cm<sup>3</sup>.
2. Añadir cuidadosamente un volumen igual de disolución de dicloruro de decanodioilo al vaso de precipitados (¡precaución!: este producto desprende vapores irritantes que son un potente lacrimógeno y su efecto es, a menudo,

duradero, por lo cual es necesario manejar este producto en la vitrina de gases). Se formarán dos capas separadas, que no deben mezclarse.

3. Utilizar un par de pinzas para extraer la capa de nilón formada en la interfase de las dos capas en contacto. Esta operación debe llevarse a cabo lentamente y recoger, dando vueltas, el hilo de nilón formado sobre una varilla de vidrio o un tubo de ensayo. Lentamente, enrollar el hilo sobre la varilla. Al mismo tiempo que se extrae el nilón, se forma más sobre la interfase de los líquidos, por lo que podremos ir recogiendo más, durante algún tiempo, enrollándolo sobre la varilla.
4. Una vez que ya hemos obtenido una cierta cantidad de nilón, es necesario lavarlo a fondo con agua del grifo. Se debe tener cuidado en no tocar el nilón, pues se forman huecos en los que quedan atrapadas pequeñas cantidades de los productos de partida, que, como se recordará, son irritantes.

## 5. SÍNTESIS DE UNA RESINA SINTÉTICA DE UREA-FORMALDEHÍDO

La resina de urea-formaldehído, además de ser un ejemplo de material termoestable, también es un fertilizante nitrogenado de aporte controlado, ya que en medio acuoso va liberando progresivamente nitrógeno amoniacal asimilable por las plantas.

### 5.1. Material y reactivos

- Urea.
- Disolución de formaldehído al 30 %.
- HCl concentrado.
- Vaso desechable.
- Varilla de vidrio.

### 5.2. Procedimiento

Se disuelven en un vaso de precipitados 5 g de urea y 15 cm<sup>3</sup> de una disolución de formaldehído al 30%, agitando hasta disolver la urea. Al añadir a dicha disolución 1,5 cm<sup>3</sup> de HCl concentrado y agitar cuidadosamente, la disolución se enturbia progresivamente, formándose la resina.

## REFERENCIAS

1. J. Solbes, A. Vilches, *Enseñanza de las Ciencias*, **1989**, Vol. 7 (1), 14-20.
2. J. Solbes, A. Vilches, *Science Education*, **1997**, Vol. 81 (4), 377-386.
3. AA.VV. *Química Avanzada Salter's*, Generalitat Valenciana (2000).
4. D. Treagust, R. Duit, M. Nieswandt, *Educación Química*, **2000**, 11 (2), 228-233.

5. A.E. Domínguez, *et al.*, *Anuario Latino de Educación Química: El concepto de enlace, construcciones alternativas de los estudiantes en Química Inorgánica*, San Luis (Argentina) (2000).
6. G. Sproul, *J. Chem. Educ.*, **2000**, Vol. 78, 387-390.
7. R. Stucki, *J. Chem. Educ.*, **1984**, Vol. 61, 1092-1094.



## VIDA BAJO CERO: LAS PROTEÍNAS ANTICONGELANTES

*Antonio D. Molina García*

Instituto del Frío, Consejo Superior de Investigaciones Científicas  
José Antonio Novais 10, 28040-Madrid. e-mail: ifrm111@if.csci.es

*Un caso de especial singularidad entre los fenómenos de interfase, con frecuencia críticos, es el de las proteínas anticongelantes. Estas moléculas son capaces de unirse a caras específicas de los cristales de hielo en crecimiento y detener o ralentizar, mediante impedimentos cinéticos, el proceso de la congelación. Más sorprendente aún es que esta estrategia haya sido descubierta por multitud de organismos poco relacionados y empleada para defenderse de los daños ocasionados por la formación de cristales de hielo.*

No hay en nuestro planeta una sustancia de comportamiento más sorprendente ni de mayor importancia para sus características diferenciales que el agua. Es un compuesto sencillo que, sin embargo, acumula una asombrosa cantidad de "anomalías" en su comportamiento. Algunas de ellas son comentadas en la dirección de internet: <http://www.sbu.ac.uk/water/explan.html>

Una de las propiedades del agua, responsable del aspecto y propiedades de la biosfera, es su equilibrio de fases. El diagrama de fases del agua (Figura 1), es realmente complejo. Doce formas polimórficas de hielo, diferentes en sistemas de cristalización y propiedades físicas, tienen existencia en distintas regiones de presión-temperatura (1). De las formas cristalinas sólo una, el

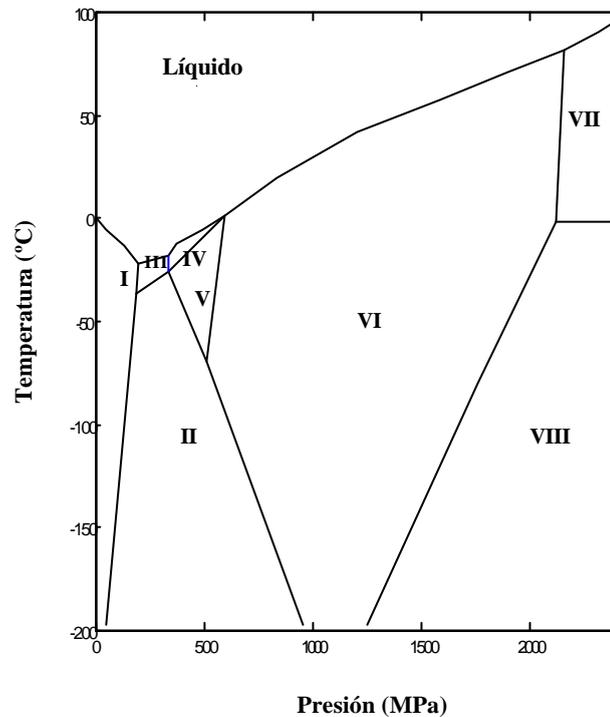


Figura 1. Diagrama de fases sólido-líquido del agua presión-temperatura (datos: 1, 2).

clásico hielo I, tiene existencia a presión atmosférica. El resto son obtenibles a alta presión y en la naturaleza sólo tienen lugar en los fondos glaciares o en depósitos geológicos profundos.

El hielo I, como se observa en el diagrama de fases, presenta una pendiente negativa en su curva de equilibrio con agua líquida. Así, el incremento de volumen en el cambio de fase es negativo: el hielo I es menos denso que el agua líquida. Buena parte de la dinámica del agua en nuestro planeta sería radicalmente distinta de no ser así, ya que, al descender la temperatura, la fracción congelada en ríos y mares, en lugar de hundirse, dejando lugar a más agua líquida que pueda congelarse, se sitúa en una capa sólida superficial que flota aislando, de esta manera, la masa de agua del frío exterior. El volumen específico de agua y hielo (en función de temperatura y presión) puede ser calculado, junto con otras propiedades termofísicas, mediante las rutinas de cálculo desarrolladas en el laboratorio del autor (3) y disponibles en la dirección de Internet: <http://www.if.csic.es/programas/ifiform.htm>.

La vida en la Tierra se desarrolla con frecuencia en las cercanías del punto de congelación del agua. Esto no es casualidad. Otras propiedades "anómalas" del agua, sus altos calores de cambio de fase en la congelación y calor específico son responsables, ejerciendo una verdadera regulación de la temperatura debido al mucho calor implicado en congelar o fundir pequeñas cantidades de agua. Las condiciones de vida no sólo en los océanos glaciares, sino en buena parte de los sistemas marinos, y en la superficie de la mitad del globo se encuentran a menos de 2 grados del punto de congelación del agua, o muy a menudo, por debajo. Los

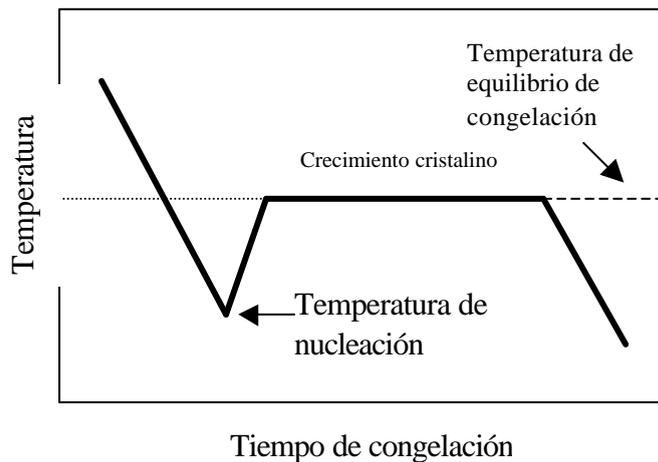


Figura 2. *Cinética de la formación de cristales de hielo: es necesario descender por debajo de la temperatura de equilibrio de congelación, para que los cristales nucleen.*

seres vivos han desarrollado una gran diversidad de sistemas de defensa frente a las agresiones del entorno o, según se vea, de sistemas homeostáticos, conducentes a mantener constantes las propiedades de interés para su buen funcionamiento. Los animales de sangre caliente han elaborado un complejo y poderoso sistema que permite mantener un nivel de temperatura óptimo en toda situación ambiental. Pero

sólo parte de los animales vertebrados posee ese sistema: el resto de las formas animales y vegetales y la totalidad de los microorganismos carecen de ella. Sin embargo la congelación es (casi) siempre un evento letal para los seres vivos.

El hielo I forma cristales del sistema hexagonal que, como en todos los sistemas cristalinos, crecen excluyendo a las moléculas de solvente que se puedan encontrar en su seno, ya que distorsionarían la red cristalina. La formación de cristales de hielo, en el interior del citoplasma ocasiona la muerte celular, principalmente por la ruptura mecánica de las paredes y divisiones celulares por el crecimiento del cristal y el aumento de volumen asociado al cambio de fase, y por deshidratación, ya que el hielo atrapa el agua necesaria para el funcionamiento celular. El hielo extracelular es menos deletéreo para los sistemas vivos. En el espacio extracelular no siempre el crecimiento de cristales da lugar a la ruptura celular, pero el agua es extraída de la célula, y estas sufren una deshidratación y un aumento de la concentración de solutos que suele ser, también, letal. En plantas es difícil distinguir los daños causados por el frío de los de congelación, pues ambos implican alteraciones de volumen celular, cambios en concentraciones de solutos, flujos forzados a través de membranas e incluso ruptura de las mismas, deshidratación y daños oxidativos (4-6).

Para evitar la formación de hielo en sus tejidos, los seres vivos recurren a una serie de estrategias complementarias. Por una parte, la exclusión de solutos de la red cristalina del hielo no ocurre sin un costo: la temperatura de congelación de las soluciones disminuye de manera proporcional a la concentración, según la ley de Raoult. Pequeños descensos de temperatura de congelación pueden ser ocasionados por la presencia de sustancias de bajo peso molecular en solución: azúcares solubles (sacarosa y rafinosa), sorbitol, betaina, aminoácidos (prolina, glicina) y poliaminas (5, 7-11). Pero a partir de cierto umbral de concentración de osmolitos aparecen problemas para mantener la estanqueidad y compartimentalización celular.

Otra estrategia tiene que ver, no con aspectos termodinámicos de la formación de hielo, sino cinéticos. Los procesos de cristalización suelen tener unos comienzos difíciles. La existencia de interfases es, en general, energéticamente desfavorable. Y el comienzo de toda cristalización implica la creación de una nueva interfase. La energía de red proporcionada por la ordenación cristalina es capaz de compensarla, pero ésta es proporcional al volumen y la interfase a la superficie. Así, la formación de cristales conlleva una nucleación, más desfavorable que el posterior crecimiento del cristal (Figura 2). En el caso del agua, la formación de núcleos de hielo, sin la intervención de elementos ajenos que los induzcan, no ocurre hasta alrededor de los  $-50^{\circ}\text{C}$ . La presencia de partículas en suspensión que faciliten la adición de moléculas de agua en la disposición espacial adecuada facilita este fenómeno, aunque siempre es necesario descender bien por debajo de la temperatura de equilibrio de congelación para que la formación de hielo tenga lugar. El fenómeno limitante para la formación de estos núcleos es la difusión de moléculas de agua hasta, por azar, encontrar la conformación adecuada. Así, aquellos factores que puedan reducir esta movilidad del agua reducirán la probabilidad de formación de cristales de hielo. Una alta concentración de

sustancias, que puedan ser sales y azúcares, como en el caso anterior, pero también proteínas u otros polímeros, tales que su efecto sobre las propiedades osmóticas sea más reducido, pero que aumenten significativamente la viscosidad, tienen efecto sobre

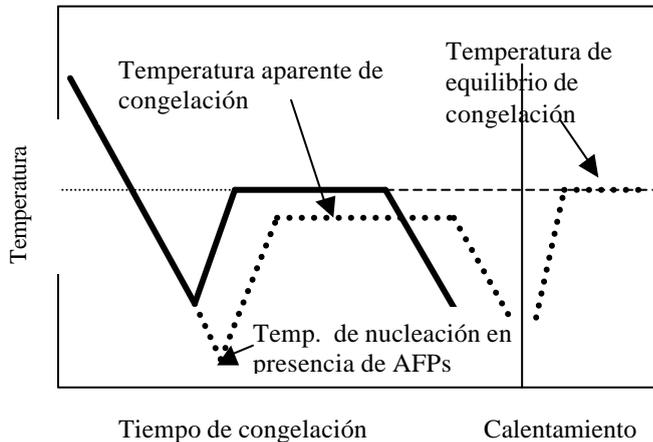


Figura 3. *Histéresis térmica: la  $T$  observada de congelación en presencia de AFPs es menor que la de fusión.*

la disminución de la temperatura de nucleación de hielo.

Otra estrategia más sofisticada, la de las proteínas anticongelantes (AFP, *antifreeze proteins*), también incide sobre propiedades cinéticas, de no equilibrio. Se observó que la sangre de los peces árticos no se congelaba en las condiciones esperables (12). Más aún, presentaba lo que se denominó “histéresis térmica” (13): la temperatura de equilibrio de congelación (Figura 3), no era igual a la

de equilibrio de fusión del hielo. Este comportamiento, de nuevo “anómalo”, se relacionó con el alto contenido de una proteína de bajo peso molecular en la sangre de dichos peces. El descenso de la temperatura de inicio de la congelación asociado a estas proteínas es de poco más de 1 °C. Aún ese pequeño descenso es capaz de proteger a un pez que tiene que sobrevivir en agua salada que congela a aproximadamente -1 °C. Posteriormente se han hallado proteínas de este tipo en otros organismos animales (6), microorganismos (14) e insectos (5, 15). Las AFPs de insecto ocasionan un descenso del punto de congelación bastante mayor que las de pez (16). También las plantas de climas extremados emplean esta estrategia (17-20), incluso aquellas que no soportan comúnmente estas temperaturas, sometidas a choques de frío, inducen proteínas que interaccionan con el hielo.

El mecanismo de actuación de las proteínas anticongelantes vegetales está aún bajo estudio (19). Pero el resto de los sistemas encontrados parece responder a un diseño común. Las claves del esclarecimiento de este mecanismo se pueden hallar si volvemos a considerar el comportamiento del hielo. Como vimos, una vez alcanzada la temperatura de nucleación, los núcleos formados comienzan a crecer. La agregación de moléculas al núcleo preexistente es mucho más fácil y ocurre con gran rapidez. Debido al calor de cambio de fase liberado, la temperatura del sistema asciende, hasta llegar a la de equilibrio de cambio de fase (Figura 2). Si este calor es disipado, el crecimiento de los cristales procede hasta ocupar toda la masa de agua inicial, para agua completamente pura. En el caso de soluciones, el comportamiento es distinto

(Figura 4). La formación de hielo ocasiona la exclusión de solutos, de manera que su concentración en la fracción de agua por congelar aumenta. Con ello, y por la mencionada ley de Raoult, la temperatura de congelación de la solución disminuye, y así continúa haciéndolo mientras procede la formación de hielo. En algunas soluciones se forman mezclas que cristalizan a composición constante. Pero en soluciones más diluidas el efecto principal es que, al final del proceso de cristalización (Figura 5), un mosaico tridimensional de cristales de hielo se halla separado por regiones de agua líquida con alta concentración de solutos. Poco más o menos, este es el estado de la mayoría de los sistemas de hielo naturales. Pero no constituye una situación estática, pues la inestabilidad causada por la interfase sigue actuando. Así, los cristales más grandes están favorecidos frente a los menores, y tienden a crecer a costa de los pequeños, sin que por ello se vea alterado el porcentaje de hielo total a esa temperatura (una propiedad de equilibrio, a diferencia de la distribución espacio-temporal de los cristales, de no equilibrio). Mientras exista una fracción de agua por congelar, la migración de moléculas de agua de unos cristales a otros es posible, y el crecimiento cristalino (21). Este fenómeno denominado recrystalización, es común a todos los cristales y el causante del deterioro de muchos sólidos y del límite de la vida útil de los alimentos congelados. En presencia de AFPs se observa una disminución de la velocidad de recrystalización (19, 20), siendo las de origen vegetal las más activas, si bien su potencial de histéresis térmica es menor que el de las de peces (19,20,22).

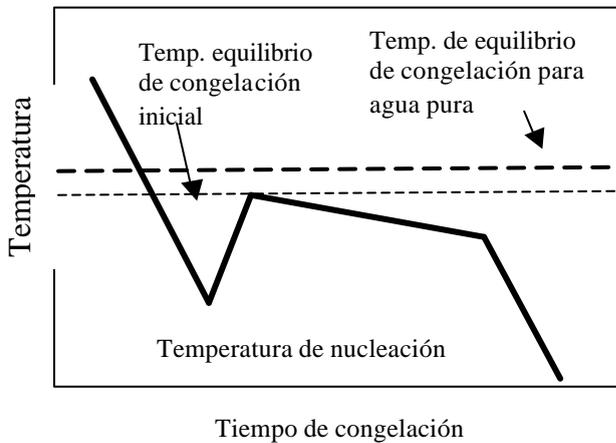


Figura 4. *Cinética de la formación de cristales de hielo para una solución: el punto de congelación disminuye, a medida que la fase líquida se concentra.*

La formación de hielo ocasiona la exclusión de solutos, de manera que su concentración en la fracción de agua por congelar aumenta. Con ello, y por la mencionada ley de Raoult, la temperatura de congelación de la solución disminuye, y así continúa haciéndolo mientras procede la formación de hielo. En algunas soluciones se forman mezclas que cristalizan a composición constante. Pero en soluciones más diluidas el efecto principal es que, al final del proceso de cristalización (Figura 5), un mosaico tridimensional de cristales de hielo se halla separado por regiones de agua líquida con alta concentración de solutos. Poco más o menos, este es el estado de la mayoría de los sistemas de hielo naturales. Pero no constituye una situación estática, pues la inestabilidad causada por la interfase sigue actuando. Así, los cristales más grandes están favorecidos frente a los menores, y tienden a crecer a costa de los pequeños, sin que por ello se vea alterado el porcentaje de hielo total a esa temperatura (una propiedad de equilibrio, a diferencia de la distribución espacio-temporal de los cristales, de no equilibrio). Mientras exista una fracción de agua por congelar, la migración de moléculas de agua de unos cristales a otros es posible, y el crecimiento cristalino (21). Este fenómeno denominado recrystalización, es común a todos los cristales y el causante del deterioro de muchos sólidos y del límite de la vida útil de los alimentos congelados. En presencia de AFPs se observa una disminución de la velocidad de recrystalización (19, 20), siendo las de origen vegetal las más activas, si bien su potencial de histéresis térmica es menor que el de las de peces (19,20,22).

Otras evidencias son que la actividad anticongelante no está proporcionalmente relacionada con la concentración de AFPs, y que en las distintas proteínas encontradas y en las modificadas artificialmente que mostraban actividad, se retienen ciertas regularidades estructurales, que parecen establecer una superficie de contacto complementaria a la del cristal de hielo, formada por varias  $\alpha$ -hélices hidrofóbicas interrelacionadas. La explicación de mayor consenso implica que las AFPs se unen a la cara de crecimiento preferente del cristal de hielo incipiente, impidiendo su desarrollo en esa dirección. El crecimiento en otras direcciones es, por

razones estéricas, más lento. Esto justifica la forma fusiforme de los cristales en presencia de AFPs (12, 16, 23).

Este mecanismo es coherente, por tanto, con la lentificación de la recristalización, pues impide que los cristales ya formados acumulen más moléculas y con la “histéresis térmica”, ya que sólo la formación del hielo se ve alterada y la fusión ocurre en condiciones de equilibrio. Otra teoría, menos popular, sugiere que las AFPs se unen a los núcleos heterogéneos, a partir de los que crecen los cristales con mayor facilidad. Las caras de estas partículas a las que se unirían, bloqueándolas, tendrían, también una cierta complementariedad con las del cristal hielo.

Las AFPs más conocidas, las primeras estudiadas, las de pez ártico, son producidas comercialmente en la actualidad. Sin embargo, su extracción de peces escasos hace muy limitados sus potenciales usos. En la industria alimentaria se considera favorable el

que el tamaño del cristal de hielo no crezca durante el almacenamiento. En general, cuanto menor es este tamaño, mejor. Pues los cristales grandes ocasionan rupturas celulares y separaciones tisulares. Además el cristal de hielo extracelular crece a costa de deshidratar el citoplasma de las células vecinas. En sistemas no celulares, por ejemplo, también tiene su importancia: por ejemplo, en helados, cristales mayores de 50  $\mu\text{m}$  son percibidos organolepticamente como textura arenosa e indeseable. Tanto en la formación de los cristales originales, en la congelación, como en el proceso de almacenamiento, estas proteínas pueden ser de interés. Otros sistemas biológicos en los que se emplea la congelación como medio de conservación suelen emplear temperaturas mucho más bajas de los  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  de los congeladores de alimentos estándar. Los tejidos humanos y animales, embriones, células y microorganismos se suelen almacenar a temperatura de nitrógeno líquido,  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ . En esas condiciones no existe la recristalización, pues las soluciones concentradas en solutos llegan a tal grado de viscosidad por la alta concentración y la baja temperatura que son incapaces de evolucionar hacia la formación de hielo: vitrifican. Sin embargo también se espera encontrar utilidad a las AFPs para modular la formación de hielo inicial e impedir su presencia intracelular.

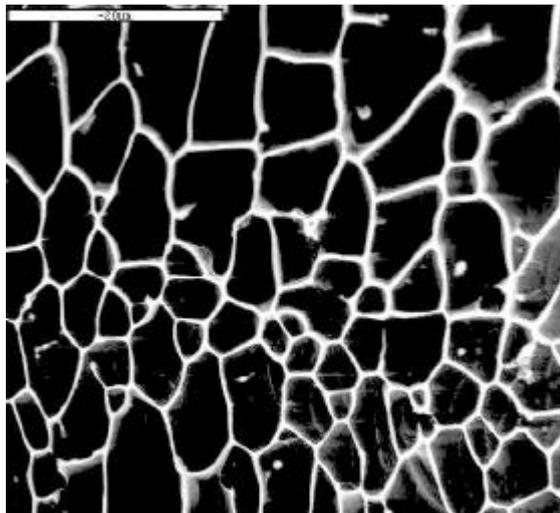


Fig. 5. Micrografía electrónica de barrido a baja temperatura. Cristales de hielo separados por sectores de solución concentrada de sacarosa (equilibrio a  $-20^{\circ}\text{C}$ ). Concentración inicial: 16%.

La capacidad de producción de estas proteínas, en cantidades suficientes para su uso industrial se verá muy favorecida cuando se desarrollen las derivadas de plantas. Un proyecto en el que el autor se halla involucrado incluye el desarrollo de AFPs a partir de frutos de uva y chirimoya, donde se sospecha su existencia. Estas AFPs podrían ser extraídas a partir de subproductos agrícolas con gran beneficio económico. Otra posibilidad de aprovechamiento es su clonación y producción industrial (24). Una de estas proteínas, aislada a partir de insectos, ha sido clonada en levaduras. La clonación de estas proteínas en sistemas bacterianos habituales no es posible, pues se trata de glicoproteínas (12, 14), y la porción glucídica sólo puede ser originada en células eucariotas, como las levaduras. Uno de los usos de interés de estas proteínas sería el aumento de la resistencia de las masas de panadería fermentadas a la congelación (25, 26). Existe gran demanda de las mismas, pero el factor limitante en su conservación es la muerte paulatina de las células de levadura durante el período de almacenamiento. Por ello, si esas mismas levaduras son capaces de expresar estas proteínas de manera funcional, su supervivencia frente a la congelación se podría ver en extremo aumentada.

## REFERENCIAS

1. P.V. Hobbs, *Ice Physics*, Clarendon Press, Oxford (1974).
2. P.W. Bridgman, *Proceedings of the American Academy of Arts & Science*, Vol. 48, 439-558 (1912).
3. L. Otero, A.D. Molina García, P.D. Sanz, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **2002**, Vol. 42, 339.
4. G.J. Morris. En: *The Effects of Low Temperatures on Biological Systems* (eds. B.W.W. Ground, G.J. Morris), Edward Arnold, Londres, 120-146 (1987).
5. D.S. Neufeld, J.P. Leader, *Journal of Experimental Biology*, **1988**, Vol. 201, 227.
6. K.B. Storey, J.M. Storey, *Physiology Reviews*, **1988**, Vol. 68, 27.
7. J.F. Carpenter, S.C. Hand, L.M. Crowe, J.H. Crowe, *Archives of Biochemistry and Biophysics*, **1986**, Vol. 250, 505.
8. T.J. Anchordoguy, J.F. Carpenter, S.H. Loomis, J. Crowe, *Biochimica et Biophysica Acta*, **1988**, Vol. 946, 299.
9. C.L. Guy, *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, **1990**, Vol. 41, 187.
10. K.L. Koster, D.V. Lynch, *Plant Physiology*, **1992**, Vol. 98, 108.
11. A. Mizuno, M. Mitsuiki, S. Toba, M. Motoki, *Journal of Agricultural Food Chemistry*, **1997**, Vol. 45, 14.
12. A.L. De Vries, *Methods in Enzymology*, **1986**, Vol. 127, 293.
13. R.N. Ben, *Chembiochem European Journal of Chemical Biology*, **2001**, Vol. 2, 161.
14. H. Xu, M. Griffith, C.L. Patten, B.R. Glick, *Canadian Journal of Microbiology*, **1998**, Vol. 44, 64.

15. J.G. Duman, N. Li, D. Verleye, F.W. Goetz, D.W. Wu, C.A. Andorfer, T. Benjamin, D.C. Parmelee, *Journal of Comparative Physiology B*, **1998**, Vol. 168: 225.
16. K.V. Ewart, Q. Lin, C.L. Hew, *Cellular and Molecular Life Sciences*, **1999**, Vol. 55, 271.
17. W.C. Hon, M. Griffith, P. Chong, D.S.C. Yang, *Plant Physiology*, **1994**, Vol. 104, 971.
18. R.S. Dave, R.K. Mitra, *Phytochemistry*, **1998**, Vol. 49, 2207.
19. M. Smallwood, D. Worrall, L. Byass, L. Elias, D. Ashford, C.J. Doucet, C. Holt, J. Telford, P. Lillford, D.J. Bowles, *Biochemical Journal*, **1999**, Vol. 340: 385.
20. M.J. Kuiper, P.L. Davies, V.K. Walker, *Biophysical Journal*, **2001**, Vol. 81: 3560.
21. L. Chapsky, B. Rubinsky, *FEBS Letters*, **1997**, Vol. 412, 241.
22. D. Worrall, L. Elias, D. Ashford, M. Smallwood, C. Sidebotom, P. Lillford, J. Telford, C. Holt, D. Bowles, *Science*, **1998**, Vol. 282, 115.
23. Y. Yeh, R.E. Feeney, *Chemical Reviews*, **1996**, Vol. 28, 601.
24. G. Breton, J. Danyluk., F. Ouellet, F. Sarhan, *Biotechnology Annual Reviews*, **2000**, Vol. 6, 59.
25. R.A. Driedonks, H.Y. Toschka, J.W. Van Almkerk, I.M. Schaffers, J.M. Verbakel, *Yeast*, **1995**, Vol. 11, 849.
26. M.C. d'Anjou, A.J. Daugulis, *Biotechnology and Bioengineering*, **2001**, Vol. 5, 1.

Parte V

---

Miscelánea



## LA QUÍMICA EN LOS CRUCIGRAMAS

*Manuel Luis Casalderrey*

I.E.S. Sánchez Cantón, Avenida de la Reina Victoria s/n, 36001-Pontevedra  
casalde@teleline.es

*En el trabajo, realizado con alumnos de cuarto curso de la E.S.O. del Instituto Sánchez Cantón de Pontevedra, se ha utilizado una muestra de 247 crucigramas publicados en cinco periódicos distintos. Las definiciones relacionadas con la Química (660) sólo llegan al 6,00% del total de definiciones (10.988), lo cual representa 2,67 definiciones de Química por crucigrama. El 79% de las definiciones de Química son símbolos de elementos (2,11 símbolos por crucigrama). El resto (21%) corresponden a otras cuestiones relacionadas con la Química. Todavía pueden encontrarse símbolos de elementos inexistentes (masurio, illinio y didimio).*

### 1. INTRODUCCIÓN

El crucigrama es un pasatiempo que consiste en adivinar palabras a partir de sus definiciones o de cualquier otro recurso (refranes, frases hechas, juegos de palabras y referencias directas o indirectas). Las palabras se escriben en un cuadrado (o en otro cuadrilátero) formado por casillas blancas y negras. Las palabras ocupan las casillas blancas y se cruzan vertical y horizontalmente. Las casillas negras sirven para separar las palabras. Tienen dos bloques de definiciones, unas para las horizontales y otro para las verticales.

El primer crucigrama moderno, ideado por Arthur Wyne, un inglés afincado en Estados Unidos, apareció publicado (en diciembre de 1913) en el suplemento dominical del periódico norteamericano *New York World*. Diez años después, la mayoría de los diarios incluyeron crucigramas como una sección fija. Hoy encontramos crucigramas y otras variantes (autodefinidos, dameros malditos, encadenados, etc.) en la práctica totalidad de diarios y revistas. También existen numerosas revistas especializadas en pasatiempos.

En los crucigramas aparecen con frecuencia referencias a la Química, principalmente a símbolos de los elementos químicos.

### 2. OBJETIVOS

Los objetivos planteados en este trabajo fueron:

1. Obtener datos reales de la presencia de cuestiones relacionadas con la Química en los crucigramas.
2. Acercar el mundo de la Química a los alumnos, a través de una vía poco convencional.

3. Intentar que alumnas y alumnos: aprendan algo de Química, trabajen en equipo, se acostumbren a manejar datos y a organizarlos, sepan vaciar los resultados en tablas y representarlos en gráficas, al mismo tiempo que hacen participar a su familia de esta actividad.
4. Aumentar la motivación y el interés de los alumnos hacia la Química.

### **3. DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD**

Participan voluntariamente en la actividad, la práctica totalidad de los alumnos (40) de dos grupos de cuarto curso de la E.S.O., a los que imparto clase de Física y Química tres veces por semana. Han de recortar los crucigramas de periódicos y revistas, pegarlos en hojas de papel, resaltar las definiciones relacionadas con la Química y con la Física, anotar el número total de definiciones de cada crucigrama y el número de ellas que corresponden a Química y a Física. Sólo deben entregar los crucigramas que tengan alguna definición de estas dos materias. En las hojas deben de figurar la fecha y el nombre del periódico o revista.

Se les dio un plazo razonable para la realización y se fijó una fecha de entrega, en la cual se recogieron 1293 entre crucigramas, autodefinidos y demás pasatiempos.

Se dedicaron sesiones de clase a organizarlos con el fin de seleccionar la muestra válida, formada por crucigramas no repetidos y ordenados por fecha de publicación. El trabajo en equipo es esencial en esta etapa y en la siguiente.

Se les facilitaron unas fichas, en las cuales vaciar las informaciones de cada crucigrama, con el fin de realizar posteriormente cálculos y obtener resultados. Algunos voluntarios se llevaron trabajo a casa, al no poder dedicar más sesiones de clase al desarrollo completo de la actividad.

Luego vino un largo proceso de revisión, por mi parte, de toda la labor realizada, con el fin de depurar los resultados de los alumnos. A ellos adjunté los datos obtenidos de crucigramas seleccionados por mí, procedentes de tres periódicos.

Con el fin de poder presentar este trabajo en la fecha prevista, se restringió el estudio a sólo crucigramas de cinco periódicos: La Voz de Galicia, Diario de Pontevedra, Faro de Vigo, El País y ABC. En el primero y en los dos últimos, los resultados proceden de la muestra de los alumnos y de la que yo aporté. El resto de los materiales (crucigramas y autodefinidos) se dejan pendientes de posteriores análisis. El estudio se hace únicamente con las definiciones de Química.

### **4. MATERIALES PARA LA RECOGIDA DE INFORMACIÓN**

Se diseñaron tablas para la recogida de información y vaciado de datos de las muestras válidas. La práctica aconsejó modificarlas a medida que se trabajaba con ellas. Las que se usaron finalmente, son las que se dan en la Tabla 1.

Tabla 1. *Modelo para la recogida de las definiciones de Química y de Física en cada diario o revista*<sup>1</sup>.

INSTITUTO "SANCHEZ CANTÓN - PONTEVEDRA SEMINARIO DE FÍSICA Y QUÍMICA					
Física y Química en		<b>Crucigramas</b>	<b>Autodefinidos</b>	<b>otros</b>	
<b>Periódico/Revista</b>				<b>Página nº</b>	
<b>Alumnos/as</b>					
<b>Curso</b>		<b>Nº de definiciones</b>			<b>Definiciones</b>
<b>Nº</b>	<b>Fecha</b>	<b>Total</b>	<b>Química</b>	<b>Física</b>	
<b>Totales</b>					
<b>%</b>					
<b>Def/ crucigrama</b>					

<sup>1</sup> Las tablas usadas tienen mayores dimensiones y disponen de 35 columnas.

## 5. MUESTRA DE CRUCIGRAMAS

El estudio se realizó sobre una muestra de 247 crucigramas distribuidos de la siguiente manera (Figura 1): La Voz de Galicia (99 crucigramas), Diario de Pontevedra (46 crucigramas), Faro de Vigo (34 crucigramas), El País (31 crucigramas) y ABC (37 crucigramas).

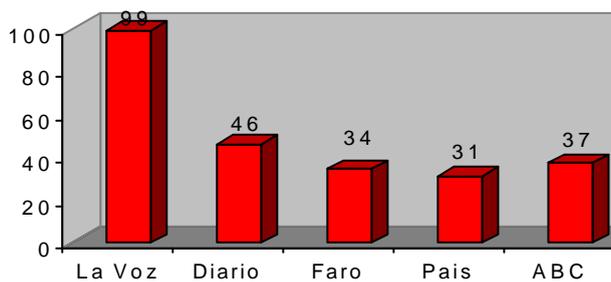


Figura 1. *Distribución de la muestra de crucigramas.*

## 6. RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados obtenidos se recogen en la Tabla 2 y en las Figuras 2 y 3.

Tabla 2. *Resultados finales*

Periódico	Número de crucigramas	Definiciones				
		Total		De Química		
		Nº	Def/crucig	Nº	Def/crucig	%
La Voz de Galicia	99	2978	30	167	1,69	5,61
Diario de Pontevedra	46	1838	40	115	2,50	6,26
Faro de Vigo	34	2852	84	182	5,29	6,97
El País	31	1808	58	105	3,39	5,81
ABC (1)	37	1432	39	93	2,51	6,49
<b>Totales</b>	<b>247</b>	<b>10988</b>	<b>44</b>	<b>660</b>	<b>2,67</b>	<b>6,00</b>

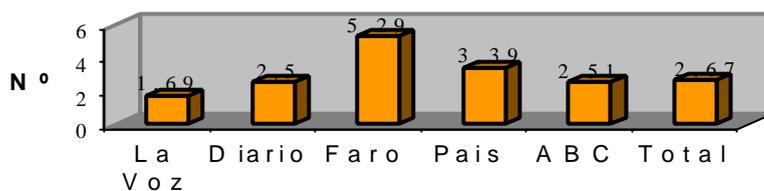


Figura 2. *Número de definiciones de Química por cada crucigrama.*

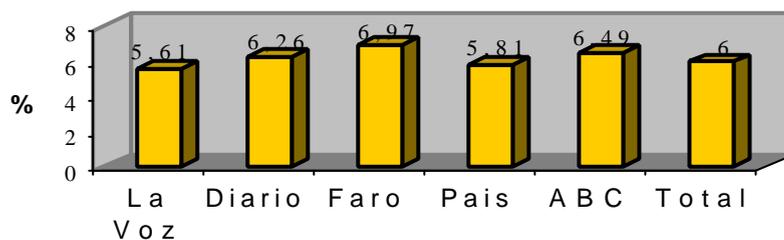


Figura 3. *% de definiciones de Química sobre el total de definiciones.*

La distribución de las definiciones de Química, permite comprobar que predominan las que se refieren a símbolos químicos (79%), como se pone de manifiesto en la Tabla 3 y en las Figuras 4 a 7.

Tabla 3. *Distribución de las definiciones de Química.*

Periódico	Nº de crucigramas	Definiciones de Química						Totales
		Símbolos			Otras definiciones			
		Nº	Símb/cruci	%	Nº	Def/cruci	%	
La Voz de Galicia	99	116	1,97	69	51	0,52	31	167
Diario de Pontevedra	46	104	2,26	90	11	0,24	10	115
Faro de Vigo	34	142	4,18	79	38	1,12	21	180
El País	31	91	2,94	87	14	0,45	13	105
ABC <sup>1</sup>	37	67	1,81	72	26	0,70	28	93
<b>Totales</b>	<b>247</b>	<b>520</b>	<b>2,11</b>	<b>79</b>	<b>140</b>	<b>0,57</b>	<b>21</b>	<b>660</b>

<sup>1</sup> La muestra de ABC está formada por dos tipos de crucigramas distintos, uno blanco con 41 definiciones de media y otro con cuadros negros de 35 definiciones.

## 7. CONCLUSIONES

A la hora de establecer conclusiones, hay que tener en cuenta que solamente se han recogido crucigramas que tenían alguna definición relacionada con la Química o con la Física. Por lo tanto, los resultados obtenidos, respecto a la presencia de la Química en los crucigramas, todavía serían menores si se usase la muestra completa de crucigramas, incluyendo los que no tienen definiciones de Química o de Física. Aunque no se dan en este trabajo, los datos respecto a las definiciones de Física son notablemente inferiores a los de Química: en el total de los 247 crucigramas sólo hay 194 definiciones que tengan que ver con la Física (0,79 definiciones por crucigrama y 1,77% respecto al total de definiciones). Entre las conclusiones finales, se destacan:

1. Se ha utilizado una muestra de 247 crucigramas de cinco periódicos, en los cuáles había alguna definición relacionada con la Química o con la Física. Tres diarios son gallegos, con distinto ámbito de difusión (La Voz de Galicia, Diario de Pontevedra y Faro de Vigo) y otros dos tienen su sede en Madrid (El País y ABC). El de mayor presencia en la muestra (Figura 1) es La Voz de Galicia con 99 crucigramas.
2. El número de definiciones por crucigrama, oscila entre 30 y 84 (Tabla 2).
3. En el total de la muestra, las definiciones relacionadas con la Química (660) sólo llegan al 6,00% del total de definiciones (10.988), lo cual representa 2,67 definiciones de Química por crucigrama (Tabla 2).

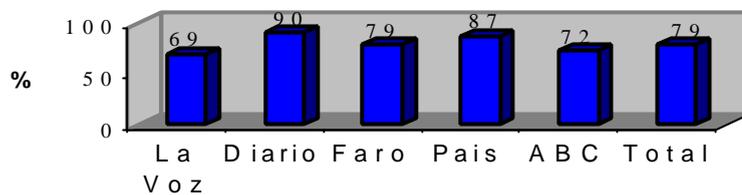


Figura 4. % de los símbolos respecto al total de las definiciones de Química.

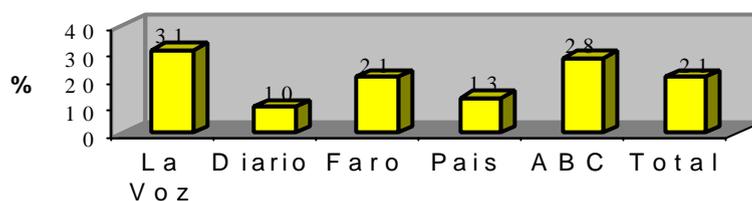


Figura 5. % de otras definiciones de Química respecto al total de definiciones.

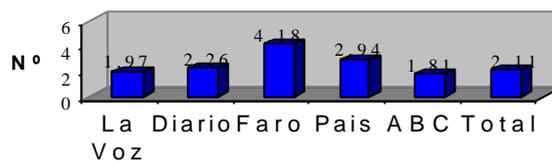


Figura 6. Distribución de símbolos químicos por crucigrama.

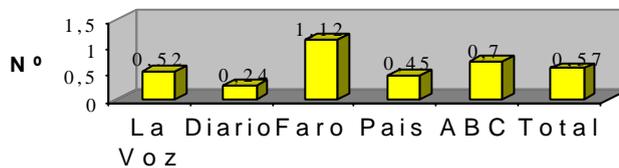


Figura 7. Distribución de otras definiciones de Química por crucigrama.

4. En cuanto al número de definiciones de Química por cada crucigrama (Figura 2), destaca sobre todos Faro de Vigo (5,29), seguido del El País con 3,39 definiciones de Química por crucigrama, siendo de 2,67 el valor para toda la muestra, como ya se ha dicho.

5. El tanto por ciento de definiciones de Química sobre el total de definiciones es bastante similar en los cinco periódicos de la muestra, oscilando los valores entre 5,61 y 6,97 (Figura 3).

6. De las 660 definiciones relacionadas con la Química, 520 son símbolos químicos, lo cual representa un 79% del total de definiciones de Química. El resto (140 definiciones, 21%) son de otra índole (Tabla 3). En algunos crucigramas, se pide símbolo químico, sin identificar al elemento.

7. Los crucigramas con mayor porcentaje de símbolos, respecto al total de definiciones de Química son los publicados en el Diario de Pontevedra (90%) y los de menor porcentaje los de La Voz de Galicia (69%) (Figura 4). La gráfica 5 (% de otras definiciones, distintas de los símbolos) es complementaria de la anterior: el mayor valor (31%) corresponde a La Voz de Galicia y el menor (10%) al Diario de Pontevedra.

8. El mayor número de símbolos por crucigrama (Figura 6) corresponde a Faro de Vigo (4,18) y el menor a ABC (1,81). El mayor número de definiciones, distintas de los símbolos, por crucigrama, corresponde también a Faro de Vigo (1,12) y el menor a Diario de Pontevedra (0,24) (Figura 7).

9. En toda la muestra, el símbolo que más veces se repite es del Oxígeno (22 veces), seguido del Radio (21 veces), del Astato (20 veces), del Sodio (18 veces), del Cobalto (15 veces), etc.

10. Entre las definiciones, se ha encontrado la petición del símbolo del *masurio*, elemento inexistente, que corresponde al Tecnecio, al que, Mendeleiev llamó *eka-manganeso*. El Tecnecio es el primer elemento que se produce de forma artificial y de ahí su nombre (*tekhnetos*-artificial). Fue erróneamente descubierto en varias ocasiones y denominado *ilmenio*, *davio*, *lucio*, *niponio* y *masurio*. El *masurio* y su símbolo (Ma) ocuparon la casilla 43 de la Tabla Periódica (la del Tecnecio) durante varios años.

## 8. RECOMENDACIONES

A los autores de crucigramas les propongo que sean más creativos a la hora de incluir definiciones de Química.

En el caso de los símbolos, podrían hacer referencia a alguna propiedad o característica del elemento. A título de ejemplo:

- Símbolo del elemento de mayor densidad (osmio).
- Símbolo del elemento que es un auténtico señor (estroncio).
- Símbolo del elemento, cuyo nombre se ha dado en honor del científico que ha establecido la teoría de la relatividad (einstenio).

- Símbolo del elemento químico progenitor del actinio (protactinio).
- Los autores de crucigramas deberían eliminar de sus definiciones los elementos inexistentes o, en todo caso, relacionarlos con los que, en algún momento reemplazaron. También deben de buscar otras referencias, distintas de los símbolos, puesto que la Química está llena de palabras, salpicadas de vocales, que podrían servir perfectamente para la realización de crucigramas. Quizá esa sea una tarea que podría plantearse como continuación de este estudio: hacer una selección de palabras para ponerlas a disposición de los autores de crucigramas.

Así, con este planteamiento, los aficionados a los crucigramas podrían aprender algunas cosas más de la Química, que no que aprenden con los crucigramas actuales.

## INTERÉS POR LA QUÍMICA A TRAVÉS DEL MEDIO AMBIENTE

*Carmen Orozco Barrenetxea, Antonio Pérez Serrano, M<sup>a</sup> Nieves González Delgado*

Departamento de Química, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Burgos

Avenida de Cantabria s/n, 09006-Burgos. qporozco@ubu.es

*El interés de los alumnos por la Química se acrecienta cuando la ven conectada a un tema tan de actualidad como es el medio ambiente. En este trabajo se expone la relación de diversos temas químicos con conceptos de contaminación ambiental y se hace referencia a una colección de problemas y cuestiones con enunciados medioambientales que hemos elaborado y, a través de los cuales, se repasan conocimientos de Química tales como: Estequiometría, Tipos de sistemas dispersos, Solubilidad, Disoluciones, Gases, Termoquímica, Cinética química, Equilibrio químico, Reacciones orgánicas, Química Nuclear, ...*

### 1. INTRODUCCIÓN

En general, los alumnos de ingeniería sienten mucha más atracción por la materia de Química si la ven relacionada con temas de la vida real y, en concreto, su interés se acrecienta cuando la ven conectada a un tema tan de actualidad y de tanto futuro en su profesión como es la Ingeniería Ambiental. Por ello, y para completar sus, lamentablemente en demasiadas ocasiones, escasos conocimientos de química, el estudio de la Química Ambiental y de los fenómenos de contaminación desde una perspectiva química son altamente interesantes.

El trabajo que presentamos señala cómo se pueden relacionar temas de Química con conceptos medioambientales. En este sentido, se han elaborado problemas y cuestiones con enunciados medioambientales, a los que se hace referencia en la bibliografía, para cuya resolución se recurre a conocimientos químicos sencillos, que cualquier alumno de primeros cursos de estudios técnicos o científicos posee. Con ello se pretende contribuir a subrayar la importancia de la Química en un campo de preocupación social como son los problemas ambientales y a suscitar el interés por la Química en un tipo de alumnos que, en muchas ocasiones, consideran esta materia innecesaria para su formación y futuro profesional.

### 2. OBJETIVOS

El trabajo que presentamos persigue los siguientes objetivos:

1. Motivar el interés de los alumnos de Ingeniería por la Química.
2. Hacer patente la necesidad de conocimientos químicos en la comprensión y resolución de problemas ambientales.

3. Hacer comprender que muchos de los problemas a los que un ingeniero se enfrenta a lo largo de sus estudios y de su actividad profesional precisan de una base química para su resolución. El carácter multidisciplinar de los problemas ambientales no puede ignorar la faceta química de los mismos.

Para alcanzar estos objetivos, hemos tenido en cuenta diversas consideraciones, entre las que cabría citar:

- La Química es una disciplina que está siendo claramente arrinconada en los planes de formación de los estudiantes de ingeniería. Muchos ingenieros que consideran que no precisan conocimientos de Química, tienen, por el contrario, interés en incrementar su formación en temas ambientales, dado que actualmente las demandas sociales y profesionales en este campo son cada vez más notables.

- Cuando los alumnos se enfrentan por primera vez a estudios de materias relacionadas con el medio ambiente creen que se trata de una disciplina nueva para cuyo conocimiento es preciso adquirir nuevos conceptos y habilidades. Sin embargo, gran parte de la materia puede presentarse como un caso particular de aplicación de conocimientos químicos elementales.

- Los estudiantes de Ciencias prestan mucha mayor atención a los temas si conllevan la realización de problemas numéricos. Además, los problemas son aceptados por los alumnos con mucha mejor disposición si tienen enunciados referentes a la vida real. Por ello, hemos optado por presentar problemas y cuestiones de Química con enunciados de tipo medioambiental, haciendo referencia a situaciones reales, industriales o naturales. También hemos procurado que las magnitudes a manejar sean las habituales en el mundo industrial y natural, pues otra carencia que observamos en el estudio de la Química es que, en demasiadas ocasiones, no se tiene costumbre de emplear para medidas de masa y volumen unidades distintas del g (ó kg) y mL (ó L) respectivamente.

- El razonamiento sobre diversas cuestiones teóricas, referentes a problemas medioambientales, sirve también para reafirmar muchos conocimientos básicos de Química, por lo que creemos de interés la búsqueda y propuesta de ejemplos de preguntas de este tipo.

### **3. CONTENIDOS DE LA PROPUESTA**

Señalamos a continuación cómo temas básicos de Química pueden relacionarse con conceptos y problemas ambientales:

#### *El lenguaje de la Química:*

El estudio del lenguaje propio de la Química (formulación y nomenclatura) suele resultar árido, y algunos alumnos lo consideran poco útil. Sin embargo, el manejo de términos como haloformas, CFCs, clorofenoles, etc.; la previsión de una mayor o menor biodegradabilidad en función de la magnitud y naturaleza de los

compuestos orgánicos; la importancia del estado de oxidación de los metales cara a valorar su toxicidad, etc., les parece enormemente importante. Por ello, creemos que el recurso a éstos y otros ejemplos de contaminantes es un medio valioso para suscitar el interés de los alumnos por el particular lenguaje de la Química.

*Energía de enlace y energía de ionización:*

La constitución de las diferentes capas de la atmósfera terrestre, la absorción de las radiaciones de alta energía procedentes del Sol y la destrucción de la capa de ozono estratosférica, son ejemplos interesantes para incidir en los aspectos energéticos de cualquier disociación o ionización química.

*Estequiometría:*

Cualquier cálculo básico en medio ambiente referente a temas muy diversos: cantidades de reactivos a adicionar para eliminar ciertos contaminantes contenidos en aguas residuales o emisiones gaseosas; previsiones de posibles emisiones a cualquier medio; previsiones de generación de lodos; composiciones de combustibles y valoración de las emisiones de contaminantes que originarán, etc., se resuelven mediante cálculos estequiométricos.

*Estados de agregación y sistemas dispersos:*

La forma en que pueden presentarse las diferentes sustancias en el medio natural puede ayudar a reforzar el interés del conocimiento de las fuerzas intermoleculares y los estados de agregación más estables según las condiciones ambientales. El comprender la presencia, en medios líquidos o gaseosos, de diferentes contaminantes, en función, por ejemplo, de la mayor o menor volatilidad, relacionándola con su presión de vapor, permite reforzar conocimientos básicos en Química. Así mismo, la importancia de diferenciar entre los diversos tipos de sistemas dispersos en que pueden presentarse los contaminantes: disoluciones, coloides y suspensiones, la asumen los alumnos perfectamente cuando se ve cómo el tipo de sistema disperso determina el método de tratamiento a que debe ser sometido el medio contaminado.

*Solubilidad:*

Todos los aspectos referentes a la distribución de contaminantes entre los diferentes medios, en función de su solubilidad o insolubilidad en el agua, solubilidad en tejidos grasos (posibilidades de bioacumulación), absorción en la materia orgánica del suelo, etc., permiten ver la aplicación de conceptos tan fundamentales en Química como la posibilidad de relacionar la solubilidad en los diferentes medios según sean las características de solutos y disolventes.

#### *Expresión de la concentración de disoluciones:*

Se pueden proponer innumerables ejemplos de ejercicios con enunciado medioambiental diseñados con el único objetivo de adquirir destreza en la utilización de diferentes unidades para la expresión de la concentración de las disoluciones. Además, los problemas ambientales están especialmente indicados para el empleo de unidades poco frecuentes en otro tipo de situaciones tales como ppm y ppb en aguas o de ppm y  $\text{mg/m}^3$  en el aire.

#### *Propiedades coligativas de las disoluciones:*

El ejemplo ideal, desde el punto de vista medioambiental, para ilustrar la importancia del conocimiento de las propiedades coligativas, es el cálculo de la presión osmótica que permite determinar la presión mínima que deben soportar las membranas empleadas en los tratamientos de desalinización de aguas.

#### *Manejo de ecuación de estado de gases ideales:*

La ecuación de estado de los gases ideales permite interconvertir datos referentes a concentración de contaminantes gaseosos, expresados en uno u otro tipo de las unidades que habitualmente se emplean: unidades volumen/volumen –p.p.m. ó p.p.b.- o unidades masa/volumen ( $\text{mg/m}^3$  ó  $\mu\text{g/m}^3$ ). La confusión que en ocasiones se genera por la no coincidencia de datos numéricos, o la existencia de límites legales de emisión e inmisión, referidos a diferentes condiciones de presión y temperatura, se resuelve mediante la aplicación de esta ecuación.

#### *Termoquímica:*

El tema de cálculos de calores de reacción y posteriores poderes caloríficos, tiene una gran importancia en los procesos de incineración de residuos o en el uso de diferentes tipos de combustibles. Así mismo, el conocimiento del carácter espontáneo, o no, de determinados procesos naturales o fenómenos causantes de contaminación es de gran interés y puede servir para ilustrar la aplicabilidad de los conocimientos termoquímicos.

#### *Equilibrios gaseosos. Principio de Le Chatelier:*

El tema de emisión de óxidos de nitrógeno en las reacciones de combustión es altamente ilustrativo de cómo los equilibrios en fase gaseosa se ven desplazados en un sentido u otro según se trate de procesos exo o endotérmicos y las condiciones en que se lleven a cabo.

#### *Velocidad y mecanismo de reacción:*

Las elevadas emisiones de algunos contaminantes, tales como el monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno y azufre, por determinadas fuentes, constituyen un ejemplo interesante de la importancia del mecanismo de reacción y de la velocidad de las diferentes etapas. También en este apartado podríamos señalar situaciones

representativas de la influencia de los catalizadores en la velocidad de reacción, recogiendo ejemplos de catálisis heterogénea, como el recurso habitual a catalizadores duales en los vehículos, o de catálisis homogénea, explicando la actuación de los óxidos de nitrógeno y de los clorofluorocarbonos en la destrucción de la capa de ozono estratosférica.

#### *Equilibrios de oxidación-reducción:*

El ajuste de las reacciones de oxidación-reducción resulta más atractivo si las ligamos a conceptos fundamentales en medio ambiente, tales como la necesidad de prevención de fenómenos de corrosión en tuberías o depósitos de agua; la influencia del estado de oxidación de los contaminantes en el tratamiento de residuos peligrosos; los cálculos teóricos de DBO y DQO, por la importancia del conocimiento de estos parámetros en actividades como el dimensionamiento de estaciones depuradoras; etc.

#### *Equilibrios ácido-base en disolución acuosa:*

Los cálculos de valores de pH pueden resultar más atractivos a los alumnos si en lugar de proponérseles el cálculo del pH de una disolución determinada se les sugiere que deben calcular, por ejemplo, el pH de un agua residual, la cantidad de base necesaria para su neutralización, o la cantidad de agua de lluvia que podría adquirir la condición de "lluvia ácida" si se contamina con las emisiones de determinada planta de combustión.

#### *Equilibrios de solubilización-precipitación y complejación:*

Los equilibrios de precipitación-solubilización son un tema que, en general, no tienen una buena acogida entre los estudiantes. Sin embargo, son básicos para conocer las cantidades de reactivos a añadir cuando se trata de eliminar agentes contaminantes que están en disolución en determinadas aguas y calcular la concentración residual de contaminante en la misma, una vez procedido a su remoción por precipitación. Este tema puede ilustrarse mediante innumerables ejemplos, tomados de la actividad cotidiana, en materia de tratamiento terciario de aguas residuales urbanas e industriales. Así mismo, el conocimiento de la naturaleza agresiva o incrustante de un agua, la contaminación por metales pesados por su presencia en aguas residuales o por redisolución de sedimentos, son temas que, en última instancia, se reducen a conocimientos de este tipo de equilibrios.

#### *Reacciones orgánicas:*

En medio ambiente, las reacciones de los compuestos orgánicos adquieren una importancia enorme y podemos buscar numerosos ejemplos que induzcan a los alumnos a incrementar su interés por el conocimiento de esta rama de la Química. Así, los procesos de biodegradación de muchos compuestos orgánicos (podríamos escoger como ejemplo los surfactantes de los detergentes) constituyen un modelo altamente ilustrativo de cómo transcurren las  $\beta$ -oxidaciones de los compuestos orgánicos; la

formación de oxidantes fotoquímicos en la troposfera (componentes fundamentales del *smog* seco) son reacciones homolíticas; la formación de dioxinas y furanos en la incineración de organohalogenados son exponentes de diferentes reordenaciones; entre otros.

#### *Química nuclear:*

La presencia en cualquier medio de isótopos radioactivos, y la necesidad de que las radiaciones globales  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  se mantengan por debajo de determinados valores, así como la particular gestión a que se deben someter los residuos radiactivos de alta o baja actividad, permiten incidir en la importancia de la Química nuclear. La buena comprensión de conceptos tales como velocidad de desintegración, actividad, dosis absorbida y daño biológico, son esenciales para entender el peligro de la radiactividad en el medio ambiente.

### **BIBLIOGRAFÍA**

1. B.J. Alloway y D.C. Ayres, *Chemical Principles of Environmental Pollution*, Ed. Blackie Academic & Professional, Londres (1997).
2. N. Colin Baird, *Química Ambiental*, Ed. Reverté S.A., Barcelona (2002).
3. D.W. Connell, *Basic concepts of environmental chemistry*, Ed. Lewis Publishers, Florida (2000).
4. T.R. Dickson, *Química. Enfoque ecológico*, Ed. Limusa, México (1980).
5. X. Doménech, *Química ambiental: el impacto ambiental de los residuos*, Ed. Miragüano, Madrid (1993).
6. S.E. Manahan, *Environmental Chemistry*, Ed. Lewis Publishers, Florida (2000).
7. C. Orozco Barrenetxea, A. Pérez Serrano, M.N. González Delgado, F.J. Rodríguez Vidal, J.M. Alfayate Marcos, *Contaminación Ambiental: Una visión desde la Química*, Ed. Thomson, Madrid (2003).
8. C. Orozco Barrenetxea, M.N. González Delgado, J.M. Alfayate Marcos, A. Pérez Serrano, F.J. Rodríguez Vidal, *Contaminación Ambiental: Cuestiones y problemas resueltos*, Ed. Thomson, Madrid (2003).
9. C.N. Sawyer, P.L. McCarty, G.F. Parkin, *Química para Ingeniería Ambiental*, Ed. McGraw Hill, Colombia (2001).
10. G.W. Van Loon y S.J. Duffy, *Environmental chemistry a global perspective*, Ed. Oxford University Press, Oxford (2000).
11. T.F. Yen, *Environmental chemistry (Essentials of chemistry for engineering practice)*, Ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J. (1999).

## EL REACTIVO LIMITANTE: DE LO COTIDIANO AL RIGOR CIENTÍFICO

*Graciela E. Müller Carrera, Teresa Unda Carbott, Mercedes G. Llano Lomas*  
Departamento de Química Inorgánica y Nuclear, Facultad de Química  
Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Interior, Edificio B  
Ciudad Universitaria, 04510-México D.F. muller@servidor.unam.mx

*En la actualidad, se hace indispensable impartir el conocimiento por métodos modernos, previamente evaluados en su eficacia y relacionados con el entorno en que vivimos, mediante los cuales el estudiante encuentre el gusto de “descubrir”, por sí mismo y en colaboración con sus maestros y compañeros, que la ciencia no es tan lejana e intangible como parece. En el presente trabajo se presentan los recursos didácticos con que se presenta al alumno el concepto de reactivo limitante, iniciando con un tratamiento analógico cercano al entorno del estudiante. Posteriormente, se procede mediante ejemplos de fenómenos químicos que suceden en su entorno, además de un trabajo experimental riguroso y sistematizado; para, finalmente, desarrollar un tratamiento matemático que le permita manejar adecuadamente el concepto.*

### 1. INTRODUCCIÓN

Una de las materias que difícilmente llega a entusiasmar a los estudiantes del nivel medio es la Química, nivel donde, por otra parte, comienza a estudiarse esta materia por primera vez. Este hecho repercute negativamente en los siguientes niveles escolares y trae como consecuencia una matrícula baja en la carrera de Química y áreas afines. Ante este hecho, en México se han modificado sustancialmente los programas, tanto de nivel medio como medio superior, tratando de “estructurarlos de tal manera que sea posible integrar contenidos actuales del campo de la Química y la Tecnología que de ella se deriva; promoviendo en todos los cursos un enfoque que permita integrar en el estudio de la materia, las relaciones Hombre-Ciencia-Naturaleza” (1).

La historia de la Ciencia muestra que conocimiento científico y conocimiento común están íntimamente relacionados. Es por ello que uno de nuestros objetivos es que el estudiante descubra que la Ciencia es algo que tiene que ver cotidianamente con su vida y desarrolle actitudes científicas.

### 2. GENERALIDADES

El reactivo limitante se puede definir como el reactivo que se encuentra en menor proporción en moles que la que señala la proporción estequiométrica, de tal

forma que, cuando el reactivo se acaba, la reacción se detiene y con esto limita o controla la cantidad máxima de producto que se puede obtener (2). Es un concepto de reciente aparición en los libros de texto (15-20 años) y que, con base en las técnicas de análisis de los Procesos Evolutivos de la Creatividad (PEC), de José Huerta *et al.* (3), presenta muy poco cambio en su evolución histórica (5).

### 3. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en la presentación del tema incluye los siguientes aspectos:

#### 3.1. El uso de analogías del entorno cotidiano

Existen infinidad de ejemplos para relacionar el reactivo limitante con hechos cotidianos a través de analogías:

- Número de autos que se pueden construir considerando el número de elementos que lo componen y la disponibilidad de cada uno de ellos.
- Elaboración de alimentos con proporciones definidas de ingredientes que permiten identificar cuál de ellos limita el número de comensales, o bien el número de unidades que se pueden preparar con estos ingredientes (hamburguesas, sándwiches, pasteles, platos de paella, etc.) (5).
- Número de parejas de baile que se pueden formar con un número determinado de hombres y mujeres (6).
- Número de folletos con hojas de diferentes colores que se puedan encuadernar identificando el color que limita el número de folletos.
- Uso de juguetes de ensamble que permiten construir entidades con diferentes proporciones de acuerdo a color, tamaño u otras especificaciones (7).
- Uso de piezas cerámicas con diferentes colores y diseños que permite diferentes arreglos geométricos de gran atractivo visual.

Este último nos ha resultado especialmente atractivo para los alumnos, que realizan infinidad de combinaciones con las piezas que se les proporcionan y logran identificar el número de entidades que es posible obtener, a partir de un número determinado de piezas diferentes.

#### 3.2. Experiencias de cátedra para identificación del reactivo limitante en procesos químicos

En este segundo paso, se eligieron una serie de reacciones que permiten reflexionar sobre el concepto e identificarlo en cada caso:

- El típico caso de la combustión de cerillas en un exceso de oxígeno.
- La combustión de una vela en un recipiente cerrado en que la cantidad de oxígeno está restringida y limita la reacción.

- La producción de oxígeno por la descomposición del agua oxigenada en presencia de un catalizador, que está limitada por la cantidad de peróxido presente. Esta demostración se hace utilizando probetas con cantidades variables del reactivo y adicionando un cristal de permanganato de potasio y un jabón líquido que haga más atractiva la reacción.

- La producción de diferentes volúmenes de hidrógeno al colocar iguales cantidades de cinc con diferentes cantidades de ácido. Esta experiencia se acompaña con la comprobación de la presencia de hidrógeno mediante una punta en ignición. Se plantea cuál es reactivo limitante en cada caso considerando que siempre queda cinc en exceso y se extrapola al caso del dirigible *Hindenburg* proyectándoles el video de este terrible desastre.

- La obtención de ozono, pasando una descarga a un flujo constante de oxígeno. La cantidad de ozono dependerá del tiempo de exposición de la descarga y puede comprobarse su presencia al hacerlo reaccionar con yoduro de potasio. La cantidad de ozono limitará la cantidad de yodo obtenido, lo cual resulta apreciable por su intensidad de color.

- La reacción entre el sulfato de cobre y el cinc nos permite apreciar en qué momento el reactivo limitante es el cinc y cómo, a la desaparición del color azul, el sulfato se convierte en el reactivo limitante.

- Precipitación de diferentes cantidades de un producto, haciendo variar las cantidades de los reactivos involucrados.

- La producción de gas que se desprende cuando ponemos cantidades iguales de bicarbonato diferentes números de gotas de limón. El gas que se produce se observa, ya que se adapta a cada recipiente un globo que se expande por acción del gas.

En esta parte de la metodología se pretende que asocien los diferentes tipos de reacciones, aplicando el concepto de reactivo limitante y, posteriormente, se comparan con situaciones análogas cotidianas (ver Tabla 1):

Tabla 1. *Analogías para aplicar conceptos químicos.*

<i>Análogo</i>	<i>Tópico</i>
Pan, jitomate, rebanadas de queso, etc.	Reactivos químicos.
Ingrediente en menor proporción.	Reactivo limitante.
Proporción en que entran los ingredientes.	Proporción estequiométrica.
Elaboración de hamburguesas.	Reacción química.
Hamburguesas elaboradas.	Productos químicos.

Este paso no es trivial en el alumno, ya que requiere de una plataforma de conocimientos básicos referentes a la representación de las reacciones químicas

mediante ecuaciones, el balanceo (ajuste) de las mismas, el uso de las leyes ponderales y, primordialmente nociones de estructura de la materia y el concepto de mol.

### 3.3. Trabajo en el laboratorio sobre la base de planteamiento de problemas experimentales

Desde 1991, la Facultad de Química de la U.N.A.M. estableció las premisas de la Enseñanza Experimental (8,9,10), en las que se define el papel a desempeñar por cada uno de los elementos integrantes del proceso de enseñanza-aprendizaje y la necesidad de seleccionar, en cada asignatura, aquellos conceptos que deben aprenderse mediante la experimentación, seleccionando así el reactivo limitante. Como consecuencia de ello, se hizo un estudio que implicó la investigación de los diferentes métodos propuestos en la bibliografía para abordar experimentalmente el tema, el desarrollo experimental para determinar las condiciones óptimas de operación, la aplicación de un guión de Química general a estudiantes, el análisis de resultados obtenidos, y una evaluación interna.

El guión se diseñó sobre la base de las siguientes cuestiones: que el alumno descubra por sí mismo, a través de la resolución de un problema, el objetivo preciso del conocimiento; que los fenómenos se muestren en forma natural al estudiante, mediante el adecuado control de las variables involucradas; y que el estudiante relacione en sus justos términos, a la realidad concreta, con su representación en términos de leyes o modelos (11,12,13).

En principio se optó por un método gravimétrico que permita observar directamente las variaciones en las cantidades de precipitado obtenido manteniendo fijo un reactivo y variando las cantidades del otro, y estableciendo con precisión el punto estequiométrico. Se probaron diferentes reactivos, evaluando su cuantitividad, la dificultad en el manejo de precipitados y algunos otros parámetros. Algunas de las alternativas de reactivos ensayadas fueron: Carbonato de sodio + ácido clorhídrico; Cromato de potasio + nitrato de plomo; Nitrato de plomo + yoduro de potasio; Cloruro de bario + sulfato de sodio; Sal de Mohr + ácido oxálico; entre otras.

Para el primer caso, se hizo reaccionar una cantidad constante de carbonato de calcio con diferentes volúmenes de ácido clorhídrico 2M. La reacción que se llevó a cabo es la siguiente:



Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2.

Utilizando la estequiometría de la reacción y la ecuación general del estado gaseoso se calculan las moles y los volúmenes de  $\text{CO}_2$ . El reactivo limitante será, en los primeros tubos, el ácido clorhídrico y, en los últimos tubos, el carbonato de calcio, encontrando en el tubo 6 el punto de equivalencia. Al construir una gráfica de moles de HCl vs. moles de sólido que reaccionó se observa el punto de equivalencia (Fig. 1).

Tabla 2. Resultados obtenidos en la reacción de  $\text{CaCO}_3$  con  $\text{HCl}$ .

Tubo	Masa de $\text{CaCO}_3$ (g)	Masa sin reaccionar	Masa que reaccionó	Moles que reaccionaron	mL HCl	Moles HCl	Moles $\text{CO}_2$	mL $\text{CO}_2$
1	1	1.0	0	0	0	0	0	0
2	1	0.8	0.2	0.002	2	$4 \times 10^{-3}$	0.002	44.8
3	1	0.6	0.4	0.004	4	$8 \times 10^{-3}$	0.004	89.6
4	1	0.4	0.6	0.006	6	$1.2 \times 10^{-2}$	0.006	134.4
5	1	0.2	0.8	0.008	8	$1.6 \times 10^{-2}$	0.008	179.2
6	1	0	1.0	0.01	10	$2 \times 10^{-2}$	0.01	224
7	1	0	1.0	0.01	12	$2.4 \times 10^{-2}$	0.01	224
8	1	0	1.0	0.01	14	$2.8 \times 10^{-2}$	0.01	224
9	1	0	1.0	0.01	16	$3.2 \times 10^{-2}$	0.01	224
10	1	0	1.0	0.01	18	$3.6 \times 10^{-2}$	0.01	224

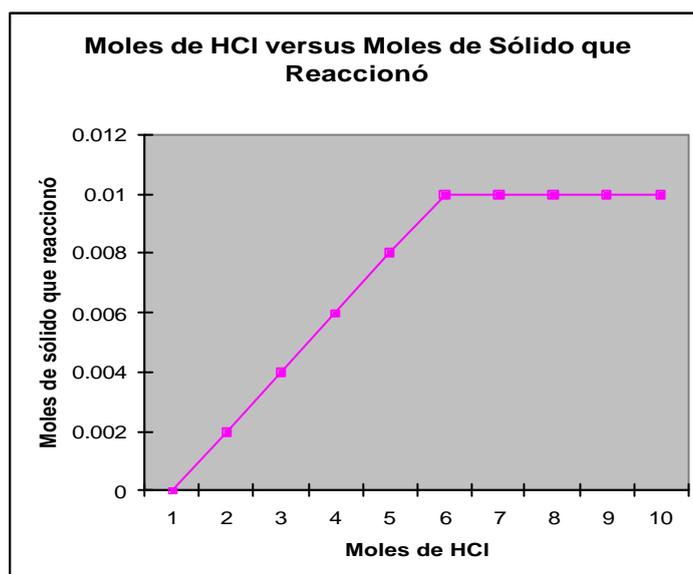
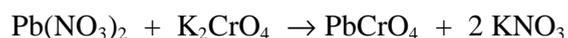


Figura 1. Masa de  $\text{CaCO}_3$  que reacciona, en función de los moles de  $\text{HCl}$ .

Para el segundo caso, la reacción que tiene lugar entre el nitrato de plomo y cromato de potasio (14):



Se trabajan ambos reactivos en diferentes proporciones y se determina la cantidad de masa de cromato en cada uno de los casos. A partir de éstos se hacen los

cálculos necesarios para conocer el reactivo limitante y el punto de equivalencia en la reacción. Si el reactivo A (nitrato de plomo) permanece constante el reactivo B (cromato de potasio) va aumentando.

Tabla 2. Resultados obtenidos en la reacción de  $Pb(NO_3)_2$  1,0 M (reactivo A) y  $K_2CrO_4$  0,1 M (reactivo B).

Nº.	Reactivo A (mL)	Moles A	Reactivo B (mL)	Moles B	Producto (g) $PbCrO_4$	Moles
1	35	$3.5 \times 10^{-3}$	1	$1 \times 10^{-4}$	0.0323	$1 \times 10^{-4}$
2	35	$3.5 \times 10^{-3}$	5	$5 \times 10^{-4}$	0.1616	$5 \times 10^{-4}$
3	35	$3.5 \times 10^{-3}$	10	$1 \times 10^{-3}$	0.3232	$1 \times 10^{-3}$
4	35	$3.5 \times 10^{-3}$	15	$1.5 \times 10^{-3}$	0.4848	$1.5 \times 10^{-3}$
5	35	$3.5 \times 10^{-3}$	20	$2 \times 10^{-3}$	0.6464	$2 \times 10^{-3}$
6	35	$3.5 \times 10^{-3}$	25	$2.5 \times 10^{-3}$	0.8080	$2.5 \times 10^{-3}$
7	35	$3.5 \times 10^{-3}$	30	$3 \times 10^{-3}$	0.9716	$3 \times 10^{-3}$
8	35	$3.5 \times 10^{-3}$	35	$3.5 \times 10^{-3}$	1.1312	$3.5 \times 10^{-3}$
9	35	$3.5 \times 10^{-3}$	40	$4 \times 10^{-3}$	1.1312	$3.5 \times 10^{-3}$
10	35	$3.5 \times 10^{-3}$	45	$4.5 \times 10^{-3}$	1.1312	$3.5 \times 10^{-3}$

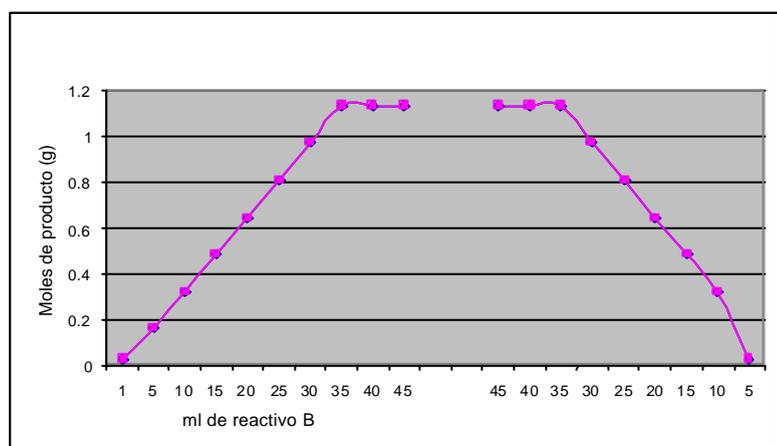


Figura 2. Representación gráfica de los resultados expuestos en la Tabla 2.

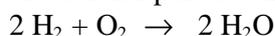
Si el reactivo B (cromato de potasio) permanece constante y el reactivo A (nitrato de plomo) va aumentando se obtiene una gráfica similar. El análisis gráfico le permite al alumno inferir, a través del trabajo experimental, el concepto de reactivo limitante en cada uno de los casos presentados, siempre y cuando éste se haya

realizado en las condiciones adecuadas. En esta parte del proceso también se hace referencia a las analogías, solicitándole al alumno las gráficas correspondientes.

### 3.4. Sistematización de datos experimentales y planteamiento matemático de resolución de problemas

El tratamiento de la determinación del reactivo limitante, en la mayoría de los textos, supone que uno de los reactivos es limitante y determina si se cuenta con la cantidad suficiente del otro reactivo, al que se supuso es el reactivo limitante. Si se consume totalmente, la hipótesis original era correcta, si no se consume, es necesario suponer que otro reactivo es el limitante y probar nuevamente la hipótesis.

• Ejemplo: Se tiene una mezcla de 10 moles de hidrógeno y 7 moles de oxígeno que la hacemos reaccionar para obtener agua, según la reacción:



Dado que 2 moles de hidrógeno necesitan 1 mol de oxígeno, el número de moles de oxígeno que se necesitan para reaccionar con todo el hidrógeno son:

$$\text{Moles de O}_2 = (10 \text{ moles de H}_2) \cdot (1 \text{ mol de O}_2 / 2 \text{ moles H}_2) = 5 \text{ moles de O}_2$$

Este método es aceptable en ecuaciones con coeficientes estequiométricos sencillos, sin embargo, desde el punto de vista didáctico, es conveniente utilizar un procedimiento más sistematizado y se propone el siguiente ejemplo:

• Si se tiene la ecuación:  $aA + bB \rightarrow cC$   
 y el número de moles iniciales es:  $X \quad Y$   
 Si  $X/a > Y/b \Rightarrow B$  es el reactivo limitante.  
 Si  $X/a < Y/b \Rightarrow A$  es el reactivo limitante.

Una vez establecido cuál es el reactivo limitante se procede a verter en una tabla los datos tanto de las analogías como los experimentales (ver Tabla 3):

Tabla 3. Valores estequiométricos obtenidos.

Cantidad de sustancia (moles)	Ecuación química ajustada:				
	$\text{CaCO}_3$	$+ 2\text{HCl}$	$\rightarrow$	$\text{CaCl}_2$	$+ \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
Se ponen a reaccionar	$1 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$			
Reaccionan	$2 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$			
Permanecen y se forman	$8 \cdot 10^{-3}$	0		$2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3} \quad 2 \cdot 10^{-3}$

#### 4. CONCLUSIONES

La secuencia propuesta permite una comprensión adecuada del reactivo limitante, que parte de analogías de la vida cotidiana como primeras aproximaciones al modelo pero que, después de un proceso que va de lo concreto a lo abstracto, conlleva un tratamiento cuantitativo que involucra un gran número de conceptos previos, derivados de los mapas conceptuales de la asignatura.

Se considera importante subrayar que, aunque las analogías son didácticas y atractivas para los alumnos que son capaces de dar un sinnúmero de ejemplos, la realidad es que, en el momento de pasar a un tratamiento más riguroso, se dificulta el manejo del concepto por la falta de habilidades matemáticas que es indispensable desarrollar, aplicando el tratamiento de sistematización de datos a los ejemplos cotidianos.

Finalmente, cabe señalar que todo proyecto de enseñanza debe ser evaluado a través de métodos estadísticos adecuados que permitan apreciar su eficacia y pertinencia.

#### BIBLIOGRAFÍA

1. Colegio de Ciencia y Humanidades, *Ciclo Bachillerato: Programa de Estudios para las asignaturas de Química I y II* (1996).
2. R. Chang, *Química*, 6ª Ed., Ed. Mc Graw Hill (1998).
3. I.J. Huerta, *Parámetros del cambio y aprendizaje por descubrimiento*, Proyecto de investigación CD 704392, Universidad Nacional Autónoma de México (1993).
4. G. Müller, *et al.*, *ALDEQ*, **1994**, Vol. 5, 253-260.
5. T. Brown, *La Ciencia Experimental*, 7ª Ed., Prentice Hall, 94-97.
6. T. Zoltán, *J. Chem. Educ.*, **1999**, Vol. 76, 934.
7. J. Spencer, *Química. Estructura y dinámica*, 1ª Ed., Ed. Cecsca (2000).
8. M. Llano, G. Müller, *ALDEQ*, **1996**, Vol. 7, 326-331.
9. M. Llano, M. Hernández, T. Miklos, G. Müller, *ALDEQ*, **1997**, Vol. 9, 200-206.
10. Llano, M. Hernández, T. Miklos, G. Müller, *Revista de Educación Química*, **1988**, Vol. 9, nº. 1, 28-33.
11. *Reforma de la Enseñanza Experimental: Guiones para Química General*, 4ª Ed., Ed. Facultad de Química de la U.N.A.M. (2002).
12. G.A. Niemoth-Anderson, D. Dormedy, M. Llano, *et al.*, *ALDEQ*, **1998**, Vol. 10, 185-190.
13. G.A. Niemoth-Anderson, D. Dormedy, M. Llano, *et al.*, *ALDEQ*, **1999**, Vol. 11, 301-310.
14. UNESCO- IUPAC, *Manual de Experimento Químicos*, Tomo 3 (1977).

## **EXPERIENCIAS EN LA TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA A GRUPOS INDIGENAS PARA LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS DE TOCADOR Y ALIMENTOS**

*Santiago Filardo Kerstupp, Armida Zúñiga Estrada, Rosalía Cruz Martínez,  
Elda J. Almazán Hernández, Eva M. Santos López, Fernando Díaz-Sánchez*  
Centro de Investigaciones Químicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo  
Ciudad Universitaria, Pachuca, Hidalgo, 42070-México  
filardok@uaeh.reduaeh.mx

*El alto Mezquital en el Estado de Hidalgo (México) es una región rica en recursos naturales, potencialmente útiles, en la que habitan las comunidades indígenas Hña-Hñus. A petición de ellos, se puso en marcha un proyecto para transmitir la tecnología o conocimiento para la elaboración de diferentes productos, así como la implantación de conceptos de calidad, tendientes a mejorar su economía y, con ellos, su calidad de vida. Durante el desarrollo del proyecto, el grupo de investigación se enfrentó al problema de transmitir una gran variedad de conceptos técnicos de manera sencilla y en el ámbito cultural propio de la región.*

### **1. PLANTEAMIENTO**

En los municipios de Ixmiquilpán y El Cardonal, pertenecientes al Estado de Hidalgo (México), se eleva un árido y calcáreo macizo montañoso, fragmentado por hondas barrancas, conocido como el Alto Mezquital, donde impera un clima seco extremo, con temperaturas máxima y mínima de 25 y 3 °C, respectivamente, cuya precipitación pluvial media anual es de 360 milímetros entre junio y septiembre; el suelo es pobre, con deficiencia de material orgánico y ligeramente alcalino; no cuenta con sistemas de riego y su acceso es a través de caminos escabrosos y polvorientos; la flora del Alto Mezquital está formada por diversas asociaciones vegetales.

El Alto Mezquital es una zona rica en recursos naturales potencialmente útiles, pero que no han sido aprovechados plenamente por los nativos de la región por carecer de información, capacitación, asesoría y tecnología aplicable a sus condiciones ambientales y socioeconómicas. Los escasos productos que tradicionalmente obtienen de una manera rudimentaria y artesanal, carecen de valor agregado y sólo se distribuyen en mercados locales por carecer de un control de calidad estricto y de una presentación adecuada. Por ello, su comercialización es muy limitada, lo cual se traduce en la obtención de ingresos económicos muy bajos, que apenas son suficientes para el sustento familiar. Paralelamente, han existido otros problemas, como la falta de organización para el desarrollo de sus proyectos, llevándolos al fracaso en sus intentos. Inmersos en esta problemática tecnológica y organizacional, no había sido posible el aprovechamiento integral de los recursos naturales que conllevara

beneficios económicos importantes, lo cual limitaba el arraigo de sus habitantes en sus comunidades, al verse obligados a emigrar a otros Estados y a otros países.

En este entorno habita el pueblo Hña-Hñu, organizado en pequeñas comunidades. Desde tiempos remotos, gran parte de la economía Hña-Hñu se ha basado en la utilización de la *lechuguilla*, que es sometida a un proceso rústico de tallado de sus hojas, obteniendo como subproductos la fibra del ixtle y el xithé. En diciembre de 1995, los lechuquilleros del Alto Mezquital Sociedad de Solidaridad Social (LAMSSS) y del Enlace Rural Regional A.C. (ERRAC) se entrevistaron con autoridades de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, solicitando apoyo para la realización de actividades tendentes a la mejora social de estos grupos marginados, integrándose un grupo de trabajo multidisciplinario e interinstitucional con el Centro de Investigaciones Químicas de la Universidad.

El planteamiento consistió en unir esfuerzos para el mejor aprovechamiento de los recursos naturales propios del Alto Mezquital, en el marco de desarrollo y transferencia de tecnología para la implantación de agroindustrias ligeras que permitieran incluir el valor agregado a la producción campesina y ofrecer productos de impacto en el mercado. Así, se plantearon proyectos para el aprovechamiento racional de la lechuguilla, continuando con la sávila, sangre de drago y nopal. Por tales razones, y en un marco de respeto a su identidad y origen pluricultural, en este trabajo se involucró a los indígenas Hña-Hñus del Alto Mezquital en el aprovechamiento racional de los recursos naturales propios de su región, mediante la aplicación de tecnología a su alcance, manejada por ellos mismos, y dentro de su propio entorno, aprovechando las materias primas de origen natural para la elaboración de productos de tocador, limpieza y mermeladas, con calidad suficiente para competir en mercados nacionales e internacionales, que finalmente les permitiese incrementar sus ingresos y mejorar sus condiciones de vida.

Al poner en marcha el proyecto, en su parte de transmitir la tecnología o conocimiento para la elaboración de los diferentes productos así como la implantación de conceptos de calidad, el grupo de investigación se enfrentó al problema de transmitir una gran variedad de conceptos técnicos de manera sencilla y en el ámbito cultural propio de la región, tarea nada fácil si se toma en cuenta que la meta era organizar una empresa productiva de calidad competitiva. Este proceso de transferencia de conocimiento implicó diferentes fases, como la asistencia de los grupos indígenas a los talleres de la Universidad, para los aspectos técnicos propios del producto, o el desplazamiento del grupo de investigación a las comunidades para la implantación del proceso productivo. En todo este proceso, un factor importante para el éxito global del proyecto lo constituyó la capacidad de transmitir estos saberes a personas con conocimientos empíricos, pero alejadas de los conceptos técnicos específicos. Cabe mencionar que, al final de todo este proceso, el resultado es que actualmente las comunidades indígenas Hña-Hñus son capaces de elaborar productos de tocador, limpieza y mermeladas, con calidad suficiente para competir en los mercados nacionales e internacionales, como resultado de la capacitación y

transferencia de tecnología que se generó mediante la vinculación de la Universidad con estos grupos.

El Objetivo general era transferir a las comunidades indígenas Hña-hñus del Alto Mezquital la tecnología de elaboración de productos de tocador, limpieza y mermeladas del fruto del nopal (tuna), con la finalidad de dar valor añadido a sus productos, lo que permitirá la comercialización de los mismos y la obtención de ingresos económicos. Para esto, la metodología inicial fue transferir la tecnología para la elaboración de tales productos, mediante capacitación a nivel laboratorio y, posteriormente, en los talleres de producción, a los grupos indígenas. Para esto se realizó lo siguiente:

- Capacitación de los representantes de cada comunidad a nivel laboratorio.
- Capacitación a los integrantes de cada taller de producción en sus respectivas comunidades.

Para el caso del control y aseguramiento de la calidad en los productos el proceso de transferencia de conocimiento comprendió los siguientes aspectos:

- A nivel laboratorio: dirigida tanto a los representantes como a los miembros de las comunidades participantes.
- Realizada en los talleres de producción de cada una de las seis comunidades.

En estas etapas, se realizó la celebración del Primer Encuentro de Calidad de productos de tocador, limpieza y artesanía elaborados por los Hña-Hñus del Alto Mezquital, que comenzó con la exposición de una conferencia de inducción a la calidad, propiciando la participación activa de todos los indígenas provenientes de los talleres de producción participantes. Posteriormente, se establecieron mesas de trabajo en las cuales se vertieron sus experiencias sobre los puntos más importantes en el proceso y los problemas a que se enfrentaron durante la elaboración de los productos, a fin de detectar los puntos del proceso donde deben poner mayor cuidado.

## **2. RESULTADOS**

Las características físicas y químicas de las plantas seleccionadas permitieron el desarrollo de las fórmulas y los procesos de obtención de los siguientes productos de tocador y limpieza:

- Polvo para lavar loza a base de xithé.
- Detergente para lavar ropa a base de xithé.
- Champú para uso humano a base de xithé.
- Champú para uso humano a base de sávila.
- Champú para uso humano a base de sangre de drago.
- Crema hidratante limpiadora a base de sávila.

Cabe hacer notar que en esta etapa del proyecto fue muy importante considerar que la tecnología debía ser adaptable a las precarias condiciones existentes en las comunidades indígenas.

También fue necesario detectar y solucionar los problemas, tanto internos como externos, de las organizaciones, por lo que se plantearon y ejecutaron las siguientes acciones:

- Se formó la estructura organizacional de la Sociedad, con el fin de deslindar funciones y responsabilidades.

- Se presentaron políticas para trabajar y así poder llevar un control interno, de acuerdo a sus funciones asignadas.

Hay que señalar que el champú ha comenzado a exportarse a Francia, donde ha sido bien recibido, por lo que se han exportado diez envíos de 30.000 litros de champú cada uno.

### **3. CONCLUSIONES**

Al hacer el análisis de toda la situación de la transferencia de tecnología se observa que, a la fecha, se han desarrollado diversos productos que han sido bien recibidos por los consumidores locales, de otras ciudades del país y de otros países, lo cual empieza a constituir un elemento importante en la economía Hña-Hñu.

Los grupos indígenas participantes en este proyecto se encuentran capacitados para operar sus propios talleres, obteniendo productos de tocador, limpieza y mermeladas, a partir de las plantas regionales que cumplen con los requisitos de calidad que exige, tanto la legislación vigente como el propio consumidor, y son competitivos en los mercados locales, nacionales e internacionales. Para ello cuentan con el fortalecimiento de sus talleres y el control y aseguramiento de la calidad de sus productos, a través de la asesoría de los investigadores de la Universidad.

Siguiendo este modelo otros productores han desarrollado este tipo de productos en el Valle del Mezquital.

De esta manera, se ha logrado aprovechar y conservar las propiedades naturales de las plantas como base para el desarrollo de productos y procesos innovadores, cuyo impacto ha rebasado los aspectos estrictamente tecnológicos, para incidir fuertemente en los aspectos ambientales y sociales. Dicha situación conlleva a la formación e integración de núcleos de desarrollo económico complementario a la economía de las comunidades indígenas Hña-Hñu del Alto Mezquital, fomentando la integración y desarrollo social de las familias participantes, logrando además un mayor bienestar social y arraigo en las comunidades; todo gracias a conseguir poner los conocimientos científicos en palabras llanas y sencillas.

## SELECCIÓN Y PRESENTACIÓN DE REFERENCIAS A LA VIDA COTIDIANA EN LA PREPARACIÓN DE UN TEXTO DE QUÍMICA

*Liliana Mammino*

Department of Chemistry, University of Venda  
P/bag X5050, Thohoyandou 0950, South Africa. liliana@univen.ac.za

*Un libro de texto es una herramienta que tiene que facilitar todos los objetivos pedagógicos de un curso. La identificación de los objetivos determina la forma en que se presenta el contenido. La integración entre la escuela y la vida cotidiana es uno de estos objetivos. Se presentan aquí las líneas guías y las opciones principales, desarrolladas a tal efecto, en la preparación de un libro de Química para la escuela secundaria. El desarrollo se basó en una recolección sistemática de informaciones acerca de las imágenes mentales, percepciones y dificultades de los alumnos.*

### 1. INTRODUCCIÓN

La vida cotidiana y la escuela son las dos “realidades” dominantes para el alumno y es fundamental que pueda percibir el máximo de relaciones y contactos entre ellas, para que su “mundo” no tenga dicotomías. Esto implica desarrollar la percepción de que la escuela es el lugar donde se aprenden “cosas” de manera más intensiva y sistemática, pero las cosas aprendidas no están aisladas del mundo que se encuentra fuera de la escuela, sino que son expresiones de lo que conocemos acerca de este mismo mundo.

Las Ciencias constituyen un área con características y exigencias propias para lo que concierne la integración del “mundo” de la escuela con la vida cotidiana: la vida cotidiana ofrece una variedad enorme de informaciones experimentales, mientras la escuela ofrece las herramientas para investigarlas e interpretarlas. La Química es una Ciencia donde estos aspectos se manifiestan de manera particularmente evidente, sea en términos de interpretación de acontecimientos naturales, sea por su rol en proporcionar una variedad de productos. Eso dispone todos los presupuestos para que sea una Ciencia fascinante y atrayente para los alumnos. Para que esta percepción se desarrolle, es importante guiar a los alumnos a comprender aspectos “químicos” de la vida cotidiana, hasta que se haga espontáneo y natural para ellos. Adquirir el hábito de combinar las dos perspectivas juega un papel importante para evitar la percepción de la Química como una materia abstracta y exclusiva del ámbito de la escuela, sin relaciones con el mundo “real”. La imagen que el alumno va a tener de la Química depende en gran medida de la posibilidad de reconocer estas relaciones.

El profesor tiene una función fundamental e insustituible en la generación de tal hábito. Pero, para que su acción alcance el máximo de resultados, todos los

aspectos de la enseñanza necesitan dar atención adecuada a la presentación de las relaciones con la vida cotidiana. Por lo tanto, en la tarea de proyectar y preparar las herramientas que son utilizadas en la enseñanza, se hace necesario perseguir el objetivo de maximizar la integración entre la escuela y el mundo exterior, predisponiendo “llaves” que estimulen al alumno a percibirla e interiorizarla. De esta manera, se amplía el espectro de los objetivos didácticos y, al mismo tiempo, se aumenta el apoyo que las herramientas pueden ofrecer a la actividad del maestro.

Entre las herramientas, el libro de texto es “unos de los pilares básicos sobre los que se sustenta la acción docente en cualquier nivel educativo” (1). Por esta razón, la preparación de un libro de texto tiene que incorporar todos los objetivos didácticos de un curso. La integración entre la escuela y la vida cotidiana forma parte de estos objetivos, además de ser ella misma una herramienta para facilitar el logro de otros objetivos. En este trabajo se presentan las líneas fundamentales de una experiencia concreta de sugerencia de opciones para maximizar la integración de las referencias a la vida cotidiana en un libro de texto de Química para la escuela secundaria. La experiencia ha involucrado dos etapas: la inicial, donde las referencias a la vida cotidiana fueron una componente importante del proyecto de presentación del material de un curso de Química (2), y una segunda etapa de optimización, correspondiente a la preparación de una segunda edición (3).

## **2. LA SELECCIÓN DE LOS CRITERIOS DE BASE**

De las consideraciones expresadas anteriormente se deduce la intención de que la integración entre la experiencia directa (cotidiana) de los alumnos y el contenido descriptivo y conceptual de la Química sea una característica de todo el curso, formando parte de todos los “ingredientes” del libro. Un libro de texto contiene varios aspectos: la descripción de fenómenos, la presentación de conceptos (el nivel interpretativo), la visualización a través de imágenes, las partes aplicativas (preguntas y ejercicios), y la práctica (experimentos). Todos estos componentes pueden tener roles importantes en la presentación de relaciones con la vida cotidiana, aunque con características y funciones diferentes. Las opciones que fueron elaboradas como las más aptas para cada componente serán presentadas en párrafos individuales, para mayor sencillez en la exposición.

La selección o elaboración de las opciones para cada componente, y la idea de las formas de su realización práctica, dependen, en buena medida, de los criterios que se eligen para el proyecto del libro. En el caso que se presenta aquí, el criterio básico para desarrollar la manera de presentación, el lenguaje, la forma de las imágenes y todos los detalles, incluso los más pequeños, fue la atención sistemática al punto de vista de los alumnos. Este criterio tiende a maximizar la eficacia de la comunicación con el alumno que utilizará el libro. Su aplicación involucró la recolección (preliminarmente al proyecto del libro) de informaciones detalladas sobre las percepciones, las imágenes mentales y las dificultades de los alumnos hacia los

diversos asuntos de un curso de Química, según la hipótesis operativa de que solamente informaciones numerosas y detalladas de este tipo puedan constituir una base fiable para el desarrollo de opciones que tengan en cuenta las exigencias de los alumnos y traten de minimizar el impacto de las dificultades identificadas.

Las informaciones fueron recogidas por medio de una pluralidad de aproximaciones: interacciones con los alumnos durante varios años, análisis sistemática de sus trabajos (analizando los errores, la manera en que expresan sus ideas y la forma con la que construyen sus respuestas), entrevistas, etc. La recolección de informaciones para el objetivo práctico de desarrollar líneas guías para la preparación de material didáctico tiene exigencias específicas. Se necesitan muchas informaciones sobre muy diversos aspectos, porque un libro incluye todos los temas de un curso y todos los aspectos de cada tema. Además, las informaciones que se necesitan son cualitativas. Lo importante no es saber qué porcentaje de alumnos comete un cierto error o tiene una cierta percepción; sino saber que hay alumnos que cometen cierto error y determinar las causas. Cuanto más alto es el número de detalles identificados, más alta es la probabilidad de desarrollar una aproximación eficaz a la presentación del asunto involucrado.

La idea de presentar las relaciones entre el contenido químico y la vida cotidiana fue parte integrante de esta aproximación. Las interacciones con los alumnos habían evidenciado que su identificación es frecuentemente difícil o, como mínimo, no inmediata, para muchos de ellos. Los detalles de las dificultades diagnosticadas en identificar o percibir las relaciones entre el contenido del curso y la vida cotidiana sirvieron como bases para desarrollar aproximaciones que ayudaran a evidenciarlas. Unos ejemplos ilustrativos serán incluidos en los próximos párrafos.

### **3. LA COMPONENTE TEÓRICA Y LA VIDA COTIDIANA**

Por su naturaleza, la explicación teórica no es el vehículo principal de la integración entre Química y experiencia cotidiana. La integración es realizada de manera más amplia a través de las herramientas que acompañan y sustentan la explicación, como pueden ser las imágenes, las preguntas y ejercicios, y los experimentos que, individualmente y en conjunto, tienen la función fundamental de aportar la componente de concreción. La experiencia cotidiana puede desarrollar varias funciones aún en el ámbito de la explicación más teórica.

Una función importante es la de proporcionar motivaciones para la introducción de ciertos conceptos. Por ejemplo, en la primera parte de un curso de Química básica o general se introducen unidades de medida nuevas, como la unidad de masa atómica y el mol. Estos son conceptos muy “químicos” y muy nuevos para los alumnos en su primero encuentro con la Química. Así, es importante responder a la pregunta del porqué los químicos tuvieron la necesidad de introducirlos. El parangón con situaciones de la vida cotidiana ayuda a comprender las razones, como se expone en los siguientes ejemplos.

En la vida cotidiana, adaptamos la unidad de masa a la magnitud de lo que interesa. Así, medimos el oro en gramos, los componentes de las medicinas en miligramos, el pan en kilogramos, el carbón en toneladas (y la foto de un anillo de oro con un comentario adecuado subraya el concepto, añadiendo la eficacia comunicativa de las imágenes). De la misma manera, para evaluar la masa de los átomos y de las moléculas, es conveniente utilizar una unidad que nos proporcione valores que dan una percepción inmediata, y es por eso que fue introducida una unidad que sirviera a tal fin.

El mol es un “puente” entre la descripción microscópica (cuántas partículas están contenidas en una cierta cantidad de sustancia) y la descripción macroscópica (la cantidad misma) (4). ¿Cómo convencer de la necesidad de introducir este puente y de cuál tiene que ser su naturaleza?. Está claro, aún para los alumnos principiantes, que no es posible contar los átomos o las moléculas. Para ilustrar la naturaleza del problema, se ha comparado a un juego en el que se pida tomar números iguales de bolitas de masas diferentes, sin que esté permitido contarlas, y con la única ayuda de una balanza. La respuesta al juego ilustra el concepto que, si se toman masas de las diferentes bolitas que estén en la misma razón de las masas de una bolita a la otra, se están tomando números iguales de bolitas. Éste no es un ejemplo familiar de la experiencia cotidiana, pero es un ejemplo que entienden bien los alumnos, porque la idea de juegos, con sus propias reglas, es una idea común. El ejemplo elige reglas que sean aptas para ilustrar el concepto químico que interesa.

Los ejemplos citados involucran analogías entre “cosas que se hacen” y, por esto mismo, evitan los riesgos intrínsecos en las analogías entre sistemas. Un ejemplo de tales riesgos es proporcionado por la analogía (frecuente) del modelo atómico de Thomson a una sandía. En más de un caso, alumnos de la escuela secundaria han limitado su descripción del modelo atómico de Thomson a la frase “es como una sandía, y los electrones son como las semillas”. En contextos de enseñanza interactiva, se han presentado casos en que, a la pregunta “¿cuál es el tamaño de los átomos en este modelo?” los alumnos contestaban seguros “como una sandía”. Frente a experiencias de este tipo, se ha decidido evitar analogías entre sistemas (como puede ser la analogía del átomo a una sandía).

Hay opiniones diferentes acerca del empleo de las analogías en la enseñanza de las Ciencias, existiendo incluso recomendaciones de darle amplio espacio en los libros de texto (5). Por otro lado, la recolección de informaciones, preliminar al proyecto del libro (2,3), había evidenciado dificultades para comprender de manera clara y correcta todos los términos de una analogía. Eso indica que, si se quieren utilizar analogías, se necesita dar amplio espacio a la precisión de todos sus términos, lo que, además de acrecentar innecesariamente el tamaño del libro, lleva el riesgo de disminuir el enfoque o hacer perder el hilo de la explicación del asunto científico. Por la tanto, con la excepción de unos casos donde la función de la analogía es casi insustituible (como los ejemplos mencionados antes) se ha decidido no incluirlas en las explicaciones. Sin embargo, sí se decidió pedirle al mismo alumno que busque

analogías y discuta los términos. Esto tiene la ventaja adicional de estimular la reflexión activa por parte de los alumnos. Sugerencias a tal efecto son incluidas en la guía para el maestro. Por ejemplo, en el caso del concepto de *reactivo limitante* (uno de los casos discutidos en (5)), el libro (2,3) proporciona una ilustración del nivel microscópico por medio de dibujos de modelos de moléculas: es fácil para los alumnos contar las esferas que representan los varios átomos y darse cuenta de lo que sucede. Por otro lado, la guía del maestro discute opciones para pedir a los alumnos que busquen analogías y guiarlos en la búsqueda.

Es posible utilizar ejemplos de la vida cotidiana no como analogías, sino para ilustrar conceptos que son frecuentemente percibidos como demasiado abstractos y lejanos de la realidad. Por ejemplo, el concepto de *cuantización*, siendo tan nuevo para los alumnos, es ilustrado por la consideración de una cantidad familiar de la experiencia cotidiana para la que son posibles solamente ciertos valores. Se ha elegido a tal efecto la distancia desde el suelo de los pies de una persona que estaba parada, a pies juntillas, sobre uno u otro escalón de una escalera. El dibujo de la situación permite indicar, de manera clara, la existencia de *valores permitidos* y *valores no permitidos*. El comentario subraya claramente el mensaje correcto, es decir, que también en la experiencia cotidiana encontramos cantidades con valores permitidos y valores no permitidos. Ésta no es una analogía, porque la escalera no es una analogía del átomo (y no es presentada como analogía). La función del ejemplo es evidenciar que un concepto que parece tan nuevo y abstracto, como el de valores posibles y valores no posibles, es en realidad algo que forma parte de nuestra experiencia cotidiana.

#### 4. LAS IMÁGENES Y LA VIDA COTIDIANA

En la enseñanza de la Química, las imágenes desarrollan una variedad de funciones, empezando por la visualización del nivel molecular, cuya importancia pedagógica es reconocida desde hace tiempo (6-8). Las funciones con las que se han utilizados en el libro (2,3) son presentadas en (9) y los criterios elaborados para idearlas son descritos en (10). Dar atención sistemática al punto de vista de los alumnos (en el sentido explicado) juega un papel fundamental, a fin de minimizar los aspectos de inadecuación discutidos en (1).

Es conveniente clasificarlas en dos grandes categorías: las imágenes de explicación y las fotografías. Las imágenes de explicación (que tienen que conformarse con las exigencias propias del lenguaje de las Ciencias, es decir, rigor, claridad y sencillez (10)), son dibujos planeados de manera que proporcionen una explicación complementaria a la del texto, y desarrollan la tarea fundamental de visualizar y hacer más concreto el mundo invisible de los átomos y las moléculas y de los fenómenos que los conciernen (9); en otras palabras, su tarea es la de hacer más concreto un mundo que está alejado de la experiencia cotidiana. Las fotografías, en cambio, son una herramienta ideal para realizar el contacto con la experiencia

cotidiana. Una fotografía representa un “pedazo” de la realidad, algo que forma parte del mundo alrededor del alumno o del mundo que puede, de alguna manera, conocer.

El primer criterio en la selección de las fotografías es buscar temas que sean perceptibles como familiares y que tengan relaciones inmediatas con el tema al que se asocian. Una guía fundamental se deduce de las interacciones con los alumnos y la identificación de sus imágenes mentales y sus dificultades. Unos ejemplos concretos pueden servir para ilustrar estos aspectos.

El inicio del curso (es decir, la primera página del primer capítulo de un libro de texto) tiene la función de engendrar la percepción de que el alumno está “introduciéndose” en el mundo de la Química. La imagen mental más inmediata y común acerca de la Química es que es “algo que tiene que hacerse en laboratorios”. Por lo tanto, se ha decidido que la primera imagen del libro sea la fotografía de un laboratorio, es decir, corresponda a la imagen mental pre-existente, transmitiendo así de manera indirecta, el mensaje “estamos haciendo Química”, mientras que el comentario transmite la información directa “la Química es una Ciencia experimental”.

El primer capítulo introduce muchos conceptos nuevos: átomo, molécula, composición, masa atómica, mol, etc. Mientras los dibujos ilustran el nivel microscópico, las fotografías ilustran el macroscópico y subrayan aspectos importantes. Hay conceptos que no necesitan más de una o dos líneas para ser expresados completamente en el texto, pero cuya importancia es fundamental para construir una visión correcta de la Química desde el comienzo; por otro lado, al ser expresados en manera tan breve no llaman bastante la atención y, frecuentemente, los alumnos no los interiorizan. Un ejemplo es el concepto de que los compuestos tienen propiedades diferentes de los elementos que los constituyen. Es importante atraer la atención sobre este concepto mucho más profundamente de lo que puede lograr la línea en que es expresado. Por lo tanto, se ha decidido ilustrarlo con fotografías, eligiendo un compuesto muy familiar, la sal de cocina, y alineando tres fotografías (un pedazo de sodio, una probeta con cloro y un poco de sal); debajo de cada una se ofrece la descripción de sus propiedades y la idea común que repite la afirmación del texto: “un compuesto tiene propiedades diferentes de los elementos constituyentes”.

La identificación de dificultades específicas puede ofrecer sugerencias interesantes. Por ejemplo, una alumna de la escuela secundaria, después de tres meses de curso, contactó la autora para pedir ayuda para “entender algo de las reacciones químicas”. A la pregunta de por qué las consideraba difíciles, respondió que en su escuela no había laboratorios, así que ella no podía tener una imagen de qué es una reacción. A la pregunta de si nunca había visto una reacción, respondió que no, con seguridad. A la pregunta “¿cómo cocinas?” respondió “con el gas”, y se sorprendió al oír que la combustión del gas es una reacción química. Esto puede ser considerado un ejemplo extremo de la frecuente dicotomía entre lo que se hace en la clase y la experiencia cotidiana de los alumnos. Por otro lado, fue considerado como una indicación importante y el capítulo que trata de las reacciones tiene la fotografía de las

llamas de un hornillo de gas en su primera página, como ejemplo de reacción química familiar.

Se ha averiguado también la eficacia del acoplamiento, en la mismas páginas, de explicaciones proporcionadas por dibujos y fotografías que sean complementarias o, en otras palabras, el acoplamiento de “imágenes químicas” e “imágenes cotidianas”. Por ejemplo, las fotos de las llamas con coloraciones debidas a varios metales (una imagen del laboratorio químico) es asociada a la fotografía de fuegos artificiales (una imagen de la experiencia cotidiana basada en el mismo fenómeno). A los dibujos de la geometría de los sistemas cristalinos se asocian fotografías de cristales, uno para cada sistema. Al dibujo que ilustra el nivel molecular de la evaporación se asocia una foto de ropa colgada para secarse. A la explicación del descenso crioscópico se asocia la foto de una máquina que esparce el sal sobre una autopista. Este último ejemplo subraya también la contextualidad de unas fotos: esta última era familiar a la mayoría de los alumnos italianos, pero completamente ajena para, por ejemplo, alumnos africanos. La cuestión pertenece al debate sobre la necesidad de que los libros de texto, sobre todo para las escuelas primaria y secundaria, tomen en cuenta apropiadamente el contexto de los alumnos y su grado de familiaridad con las imágenes que se les proponen.

El mundo de lo cotidiano contiene muchos aspectos, incluso la historia, el arte o el mito. Todos los aspectos pueden asociarse, de una manera u otra, a aspectos del discurso químico. Así, por ejemplo, una de las fotos elegidas muestra objetos de arte, y el párrafo que trata de las sales es ilustrado por la foto de la estatua (de sal) de un ser fantástico de la mina de sal de Wieliczka.

## **5. LA PARTE APLICATIVA Y PRÁCTICA**

Las partes aplicativas y prácticas comprenden las preguntas y ejercicios, al final de cada capítulo, y los experimentos para el laboratorio. Las preguntas tienen la función de guía al estudio y de estímulo a la reflexión. Así, su secuencia sigue el hilo conductor del capítulo y, al mismo tiempo, se añaden asuntos que salen de los temas tratados. Las preguntas que consideran la experiencia cotidiana son mezcladas con las otras, de manera que la reflexión sobre los aspectos de la vida cotidiana sea una parte integrante del trabajo del curso. Las preguntas tienen varias formas, desde pedir que el alumno busque ejemplos familiares para conceptos o categorías (elementos, compuestos, materiales, soluciones, sistemas heterogéneos, reacciones, etc.) a proponerle situaciones (por ejemplo, “si quieres que la pasta se cocine rápido, ¿es de ayuda usar llamas fuertes en el hornillo?; ¿y si quieres hacer evaporar más rápidamente una cierta cantidad de agua?”). También unos ejercicios con cálculos hacen referencia a situaciones que forman parte de la vida cotidiana.

Por lo que concierne a los experimentos, establecen puentes con la vida cotidiana cuando utilizan materiales comunes (sal de cocina, azúcar, hierbas, frutos,...) o cuando se refieren a fenómenos de la experiencia común. Experimentos de este tipo

son complementados por experimentos mas tradicionalmente “químicos”, para contribuir a la percepción de combinación e integración de las dos perspectivas.

## 6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En los párrafos precedentes se han presentado los criterios básicos elaborados para la preparación de un libro de texto de Química para la escuela secundaria y unos ejemplos concretos de su realización. Un libro de texto debe tomar en cuenta las interconexiones entre la Química y la vida cotidiana, darlas espacio adecuado y tender a engendrar la percepción de que la atención a estas interconexiones es una componente natural, no solamente del estudio de la Química, sino también de su función como Ciencia.

## REFERENCIAS

1. F.J. Perales y J.D.D. Jiménez, *Enseñanza de las Ciencias*, **2002**, Vol. 20 (3), 369.
2. L. Mammino, *Chimica Viva*, G. D’Anna Ed., Firenze (1994).
3. L. Mammino, *Chimica Aperta*, G. D’Anna Ed., Firenze (2003)
4. L. Mammino, *Anuario Lat. de Ed. Química*, **1999**, Vol. 12, 134.
5. T. L. Mamiala, D. F. Treagust y G. Chittleborough, *Proceedings of the 10<sup>th</sup> Annual Conference of the Southern African Association for Research in Mathematics, Science and Technology Education*, January (2002).
6. D.L.Gabel, K.V. Samul y D. Hunn, *J.Chem. Educ.*, **1987**, Vol. 64 (8), 695.
7. D.L. Gabel, *J. Chem. Educ.*, **1993**, Vol. 70 (3), 193.
8. K.J. Smith y P.A. Metz, *J. Chem. Educ.*, **1996**, Vol. 73 (3), 233.
9. L. Mammino, *Anuario Lat. de Ed. Química*, **1998**, Vol 11, 123.
10. L. Mammino, *Anuario Lat. de Ed. Química*, **1998**, Vol. 10, 54.

# LOS DIAGRAMAS DE RELACIONES MOLARES EN EL ESTUDIO DE LOS EQUILIBRIOS QUÍMICOS <sup>6</sup>

*Alberto Gómez Pedroso*<sup>1</sup>, *Fernando Montes de Juan*<sup>2</sup>, *Santiago de Vicente Pérez*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México

<sup>2</sup> Departamento de Ciencias, Analíticas Facultad de Ciencias

Universidad Nacional de Educación a Distancia, Senda del Rey 9, 28040-Madrid.  
fmontes@ccia.uned.es

## 1. INTRODUCCIÓN

Conocida por todos la escasa preparación previa en Química con que acceden los alumnos a los estudios universitarios, principalmente como consecuencia de horarios reducidos de dicha asignatura en los Planes de Estudios de las Enseñanzas Medias. Independientemente de que el profesorado de Química reivindique una ampliación de dichos horarios, puede ser conveniente proceder a un estudio conducente a una redefinición de los objetivos generales de la enseñanza de esta materia y a un desarrollo de métodos deductivos que, además de hacer posible una profundización en los conocimientos, origine una simplificación en el proceso de aprendizaje. Precisamente en este marco queda incluido este trabajo, en el que se expone la utilización (como herramientas para el estudio) de los diagramas de relaciones molares respecto a las especies predominantes en función de una variable química principal, que, introducidos en el año 1991 por el Prof. de Vicente Pérez y colaboradores (1), designaremos en adelante de forma simplificada diagramas de relaciones molares.

La exposición se ajustará al siguiente plan:

- Descripción de los diagramas.
- Construcción.
- Aplicaciones.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LOS DIAGRAMAS

### 2.1. Abscisas

En abscisas se representan los valores de la variable principal en forma cologarítmica:

- En los sistemas de la forma  $AX_n \rightleftharpoons A + n X$ , que intercambian iones o moléculas polares ( $H^+$ ,  $OH^-$ ,  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $NH_3$ , etc.), en general  $X$ , se toma como variable

---

<sup>6</sup> *Los contenidos de este trabajo forman parte de la Tesis Doctoral (en realización) de A. Gómez Pedroso.*

principal el cologaritmo de la concentración de la partícula intercambiada (pH, pOH, pCl, pNO<sub>3</sub>, pNH<sub>3</sub>, etc.), en general pX, que viene dado por la ecuación general

$$pX = \frac{1}{n} pK + \frac{1}{n} \log \frac{(A)}{(AX_n)}$$

• En los sistemas redox Red ? Ox + n e<sup>-</sup> se toma como variable principal el potencial de equilibrio dado por la ecuación de Nernst:

$$E = E^o + \frac{0,06}{n} \log \frac{(Ox)}{(Red)}$$

También puede utilizarse (2) la expresión:

$$pe = \frac{1}{n} pK + \frac{1}{n} \log \frac{(Ox)}{(Red)}$$

en donde pe (análogo a pX) es el cologaritmo de la actividad electrónica y K es la constante de donación de electrones (análoga a la de disociación de AX<sub>n</sub>).

Para ver con claridad la equivalencia entre estos dos sistemas de representación, considérense los razonamientos siguientes:

Dividiendo por 0,06 los dos miembros de la ecuación de Nernst, resulta:

$$\frac{E}{0,06} = \frac{E^o}{0,06} + \frac{1}{n} \log \frac{(Ox)}{(Red)}$$

y comparando esta expresión con el valor del pe:

$$\frac{E}{0,06} = pe \quad \text{y} \quad \frac{E^o}{0,06} = \frac{1}{n} pK$$

Igualdades que demuestran la naturaleza cologarítmica de la variable E.

A pesar de la equivalencia anterior, resulta más útil la ecuación de Nernst que la expresión de pe, en la mayor parte de los casos, por razones prácticas: en efecto, la igualdad pe = E / 0,06, indica que, si se utiliza como variable el pe, el diagrama se extiende desmesuradamente en la dirección del eje de abscisas, originándose en algunos casos diagramas tan dilatados que son imposibles de representar sobre una hoja de papel.

## 2.2. Ordenadas

En ordenadas se representan los valores de la relación entre las concentraciones o fracciones molares de todas las especies del sistema (¡ en general) y

la concentración o fracción molar de la especie predominante en cada intervalo de la variable (en general  $i_{pred}$ ):

$$\log r_i = \log \frac{(i)}{(i_{pred})} = \log \frac{a_i}{a_{i_{pred}}}$$

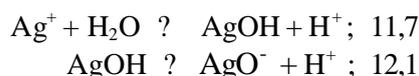
### 3. CONSTRUCCIÓN DE LOS DIAGRAMAS

En aras de la brevedad necesaria se va a exponer, a continuación, la construcción de los diagramas en dos casos concretos, que se van a utilizar como ejemplos típicos.

#### 3.1. Sistema: $\text{Ag}^+ / \text{AgOH} / \text{AgO}^-$ 11,7                      12,1

El diagrama constará de tres líneas que denominaremos línea  $\text{Ag}^+$ , línea  $\text{AgOH}$  y línea  $\text{AgO}^-$ .

Los valores de  $\text{pK} = 11,7$  y  $\text{pK} = 12,1$  son, respectivamente los  $\text{pK}$  de hidrólisis de  $\text{Ag}^+$  y de  $\text{AgOH}$ :



Los valores de las constantes indican que predominan  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{AgOH}$  o  $\text{AgO}^-$  según que  $\text{pH} \leq 11,7$ , que  $11,7 < \text{pH} < 12,1$  ó que  $\text{pH} > 12,1$  respectivamente. Por tanto:

- **A  $\text{pH} < 11,7$**

$$r_{\text{Ag}^+} = \frac{(\text{Ag}^+)}{(i_{pred})} = \frac{(\text{Ag}^+)}{(\text{Ag}^+)} = 1,0 \quad \text{y} \quad \log r_{\text{Ag}} = 0,00 \quad (1)$$

$$r_{\text{AgOH}} = \frac{(\text{AgOH})}{(\text{Ag}^+)} = \frac{(10^{-11,77})}{(\text{H}^+)} \quad \text{y} \quad \log r_{\text{AgOH}} = -11,7 + \text{pH} \quad (2)$$

$$r_{\text{AgO}^-} = \frac{(\text{AgO}^-)}{(\text{Ag}^+)} = \frac{(\text{AgO}^-)}{(\text{AgOH})} \cdot \frac{(\text{AgOH})}{(\text{Ag}^+)} = \frac{(10^{-23,8})}{(\text{H}^+)}$$

y

$$\log r_{\text{AgO}^-} = -23,8 + 2\text{pH} \quad (3)$$

La ecuación 1 da, para  $\text{Ag}^+$ , una recta horizontal; la ecuación 2 da, para  $\text{AgOH}$ , una recta de pendiente +1 que corta a la horizontal anterior  $\text{pH} = \text{pK}_{\text{Ag}^+} = 11,7$ ; y la

ecuación 3 da, para  $\text{AgO}^-$ , una recta de pendiente +2. El valor de las pendientes sigue la regla general (2): coincide con el número de partículas X, (en este caso  $\text{H}^+$ ) que la especie i tiene que tomar (pendiente positiva) o perder (pendiente negativa), para transformarse en la especie predominante.

- En el intervalo  $11,7 \leq \text{pH} \leq 12,1$  la especie predominante es  $\text{AgOH}$ , que estará representada por una recta horizontal y la línea  $\text{Ag}^+$  tendrá pendiente  $-1$ , pues  $\text{Ag}^+ + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{AgOH} + \text{H}^+$ , y la línea  $\text{AgO}^-$  pendiente  $+1$ , pues  $\text{AgO}^- + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{AgOH}$ .

- A  $\text{pH} > 12,1$  será horizontal la línea  $\text{AgO}^-$ , tendrá pendiente  $-1$  la línea  $\text{AgOH}$  (pues  $\text{AgOH} \rightleftharpoons \text{AgO}^- + \text{H}^+$ ) y pendiente  $-2$  la línea  $\text{H}^+$  (pues  $\text{Ag}^+ + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{AgO}^- + 2\text{H}^+$ ).

En resumen, para trazar el diagrama se procede de la forma siguiente:

- Se traza una recta horizontal que corresponde a las especies predominantes (cada una en su intervalo de la variable).

- Se señalan en la línea los valores de pK por los cuales se traza las líneas inclinadas con la pendiente que le corresponda en cada intervalo de la variable.

Resulta así la Figura 1.

### 3.2. Sistema: $\text{Fe}^{3+} / \text{Fe}^{2+}$ ( $E^\circ = 0,77 \text{ v}$ )

La construcción del diagrama es análoga a la del sistema anterior, considerando que  $\text{Fe}^{2+}$  predomina a  $E < E^\circ$  y  $\text{Fe}^{3+}$  a  $E > E^\circ$  y que los valores de las pendientes anteriores  $\pm n$  (ganancia o pérdida de electrones para pasar a la especie predominante) se transforman en  $\pm n / 0,06$  como consecuencia de la ecuación de Nernst. Véase el diagrama en la Figura 2.

## 4. APLICACIONES

### 4.1. Ejemplo 1º: Reacción del ion $\text{Ag}^+$ con iones $\text{OH}^-$

Habitualmente se dice a los alumnos que cuando se añade hidróxido sódico a una disolución de una sal soluble de plata (I) aparece un precipitado de  $\text{Ag}_2\text{O}$  (s), insoluble en exceso de reactivo.

Todo esto es cierto en determinadas condiciones. Pero no siempre se cumplen dichas condiciones, sino que en otras distintas no se forma el precipitado o, aunque se forme, se disuelve en exceso de reactivo NaOH.

A continuación se trata de matizar la descripción de la reacción, resolviendo para ello el problema siguiente:

- Determinése el pH de una suspensión de  $\text{Ag}_2\text{O}$  (s).
- Calcúlese la composición de la disolución en equilibrio con el precipitado.
- Evalúese la solubilidad del precipitado en agua destilada.
- Calcúlese el valor de la concentración mínima de plata (I) para que aparezca precipitado de  $\text{Ag}_2\text{O}$  (s) por adición de NaOH.

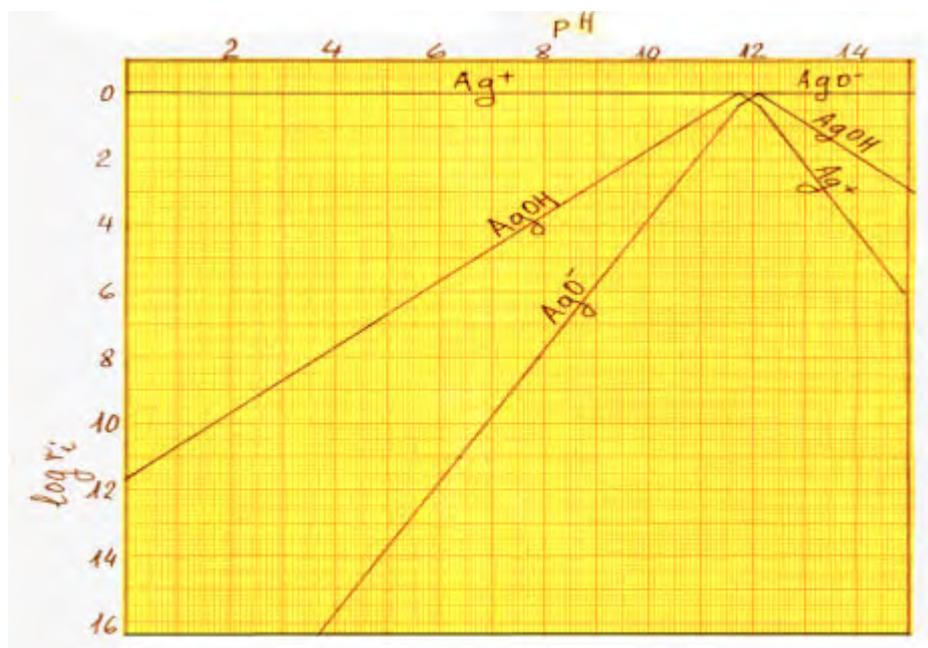


Figura 1. Sistema  $\text{Ag}^+ / \text{AgOH} / \text{AgO}$ .

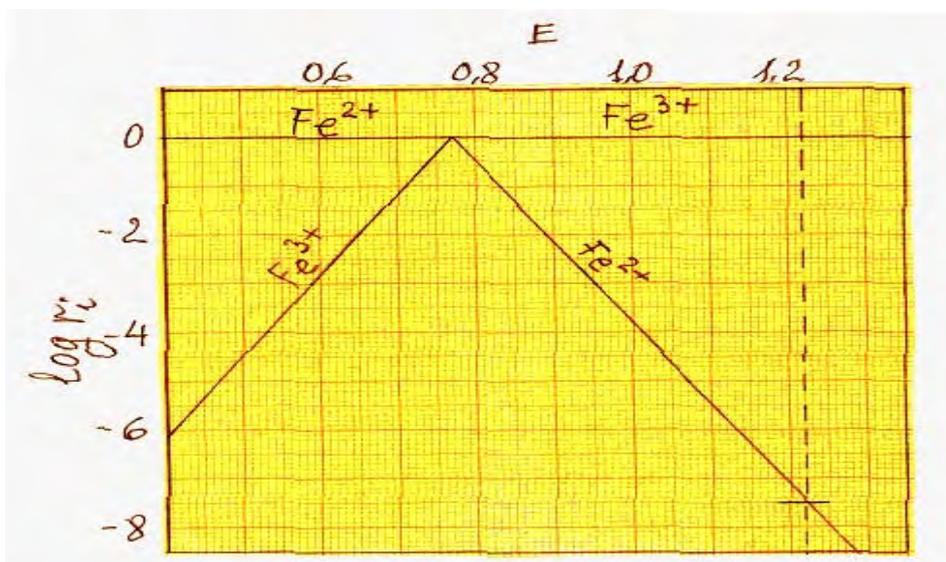


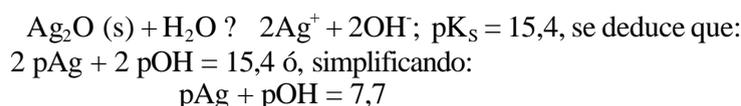
Figura 2. Sistema  $\text{Fe}^{3+} / \text{Fe}^{2+}$ .

e. Calcúlese la concentración máxima de plata (I) que hace posible que el precipitado  $\text{Ag}_2\text{O}$  (s) se disuelva totalmente a  $\text{pH} = 14,0$ .

Dato:  $\text{Ag}_2\text{O}$  (s) +  $\text{H}_2\text{O}$  ?  $2\text{Ag}^+ + 2\text{OH}^-$ ;  $\text{pK}_s = 15,4$

**Resolución:**

a. Del equilibrio:



La estequiometría del equilibrio de solubilidad anterior indica que son iguales las concentraciones de  $\text{Ag}^+$  y de  $\text{OH}^-$ , por lo que puede escribirse la igualdad anterior de cualquiera de las formas:

$$\begin{aligned} 2 \text{pAg} &= 7,7 \\ 2 \text{pOH} &= 7,7 \end{aligned}$$

que dan como resultado:

$$\text{pAg} = \text{pOH} = 3,85$$

y, finalmente:

$$\text{pH} = 14,0 - 3,85 = 10,15$$

b. En el apartado anterior se ha visto que:

$$(\text{Ag}^+) = 10^{-3,85} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

En la Figura 1 se leen a  $\text{pH} = 10,15$  los valores de:

$$r_{\text{AgOH}} = 10^{-1,55} \text{ y } r_{\text{AgO}^-} = 10^{-3,5}$$

por lo que:

$$(\text{AgOH}) = r_{\text{AgOH}}(i_{\text{pred}}) = r_{\text{AgOH}}(\text{Ag}^+) = 10^{-1,55} \times 10^{-3,85} = 10^{-5,4} \text{ M}$$

y

$$(\text{AgO}^-) = r_{\text{AgO}^-}(i_{\text{pred}}) = r_{\text{AgO}^-}(\text{Ag}^+) = 10^{-3,5} \times 10^{-3,85} = 10^{-7,35} \text{ M}$$

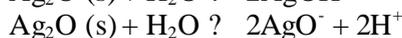
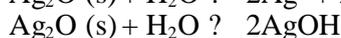
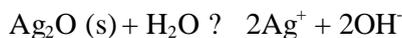
c. La solubilidad,  $s$ , tendrá el valor:

$$\begin{aligned} s &= (\text{Ag}^+) + (\text{AgOH}) + (\text{AgO}^-) = \\ &= 10^{-3,85} + 10^{-5,4} + 10^{-7,35} \end{aligned}$$

y, prescindiendo del valor  $10^{-7,35}$ , se calcula  $s$  con un error inferior al 1%, siguiendo la práctica usual en los cálculos de equilibrios, resultando finalmente:

$$s = 10^{-3,85} + 10^{-5,4} = 1,45 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

d. De los equilibrios:



se deduce de forma cualitativa que las concentraciones de  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{AgOH}$  y  $\text{AgO}^-$  sufren las siguientes modificaciones al incrementar el  $\text{pH}$  de la disolución:

- La concentración de  $\text{Ag}^+$  disminuye.
- La concentración de  $\text{AgOH}$  se mantiene constante.

- La concentración de  $\text{AgO}^-$  aumenta.

A  $\text{pH} = 11,7$  se cumple la igualdad  $(\text{Ag}^+) = (\text{AgOH})$  y a  $\text{pH} > 11,7$  la desigualdad  $(\text{Ag}^+) < (\text{AgOH})$ .

De forma análoga, a  $\text{pH} = 12,1$  se cumple la igualdad  $(\text{AgOH}) = (\text{AgO}^-)$  y a  $\text{pH} > 12,1$  la desigualdad  $(\text{AgOH}) < (\text{AgO}^-)$ .

Por tanto la solubilidad mínima de  $\text{Ag}_2\text{O}$  (s) corresponde al intervalo de predominio de la especie  $\text{AgOH}$ , es decir, al intervalo:

$$11,7 < \text{pH} < 12,1$$

y, con más precisión al  $\text{pH}$  medio:

$$\frac{1}{2} (11,7 + 12,1) = \frac{1}{2} \times 23,8 = 11,9.$$

Calculemos el valor de esta solubilidad mínima; en el diagrama de la Figura 1 se lee a  $\text{pH} = 11,9$ :

$$r_{\text{Ag}^+} = r_{\text{AgO}^-} = 10^{-0,2}$$

$$r_{\text{Ag}^+} = (\text{Ag}^+) / (\text{AgOH}) = 10^{-0,2}$$

$$r_{\text{AgO}^-} = (\text{AgO}^-) / (\text{AgOH}) = 10^{-0,2}$$

Por otra parte, la concentración de  $\text{Ag}^+$  a  $\text{pH} = 11,9$  tiene el valor:

$$(\text{Ag}^+) = 10^{-7,7} / (\text{OH}^-) = 10^{-7,7} / 10^{-2,1} = 10^{-5,6} \text{ M}$$

y, haciendo uso de los valores de  $r_i$  anteriores:

$$(\text{AgOH}) = 10^{+0,2} (\text{Ag}^+) = 10^{+0,2} \times 10^{-5,6} = 10^{-5,4} \text{ M}$$

$$(\text{AgO}^-) = 10^{-0,2} (\text{Ag}^+) = 10^{-0,2} \times 10^{-5,6} = 10^{-5,6} \text{ M}$$

Finalmente, la solubilidad mínima tendrá el valor:

$$s = (\text{Ag}^+) + (\text{AgOH}) + (\text{AgO}^-) = 10^{-5,6} + 10^{-5,4} + 10^{-5,6} = 9,0 \cdot 10^{-6} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

pudiendo concluirse que las disoluciones del ion  $\text{Ag}^+$  en concentración inferior a  $9,0 \cdot 10^{-6} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  no precipitan por adición de hidróxido sódico.

e. A  $\text{pH} = 14$  ó  $\text{pOH} = 0,0$ , la concentración de ion  $\text{Ag}^+$  tiene el valor:

$$(\text{Ag}^+) = 10^{-7,7} / (\text{OH}^-) = 10^{-7,7} / 1,0 = 10^{-7,7} \text{ M}$$

En la Fig. 1 se observa que a  $\text{pH} = 14,0$ , con predominio de la especie  $\text{AgO}^-$ :

$$r_{\text{Ag}^+} = (\text{Ag}^+) / (\text{AgO}^-) = 10^{-4,2}$$

de donde:

$$(\text{AgO}^-) = 10^{+4,2} (\text{Ag}^+) = 10^{+4,2} \times 10^{-7,7} = 10^{-3,5} \text{ M}$$

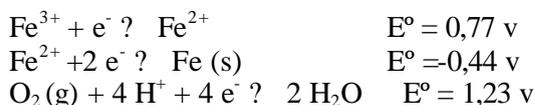
Y esto indica que las disoluciones con una concentración de plata superior a  $9,0 \cdot 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  e inferior a  $10^{-3,5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  dan con NaOH un precipitado de  $\text{Ag}_2\text{O}$  (s) soluble en un exceso 1,0 M de reactivo.

#### 4.2. Ejemplo 2: Disolución de hierro metálico en medio ácido

Se disuelven 0,10 moles de hierro metálico en ácido sulfúrico, llevando la disolución obtenida a un volumen de 1,000 L.

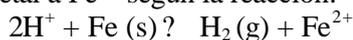
Se deja la disolución en contacto con la atmósfera hasta que se alcance el equilibrio. Si el pH final tiene el valor  $\text{pH} = 1,0$  ¿cuál es la composición de la disolución?

Datos:



#### Resolución:

Los iones  $\text{H}^+$  oxidan al metal a  $\text{Fe}^{2+}$  según la reacción:

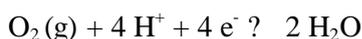


manteniéndose como tal el  $\text{Fe}^{2+}$  formado mientras dura el desprendimiento de hidrógeno, que proporciona una atmósfera reductora.

Pero, una vez concluida la reacción anterior, entra en juego el oxígeno atmosférico, que va penetrando poco a poco en la disolución (a causa de su escasa presión parcial en el aire,  $P_{\text{O}_2} \approx 0,2 \text{ atm}$ ) y oxidando al  $\text{Fe}^{2+}$  con formación de  $\text{Fe}^{3+}$ , según la reacción:



que se detiene o, mejor dicho, llega a una situación de equilibrio dinámico, cuando se alcanza el potencial de equilibrio del sistema:



dado por la ecuación:

$$E = 1,23 - 0,06 \text{pH} + \frac{0,06}{4} \log P_{\text{O}_2}$$

que a  $\text{pH} = 1,0$  y  $P_{\text{O}_2} = 0,20 \text{ atm}$  arroja el valor:

$$E = 1,23 - 0,06 \text{pH} + \frac{0,06}{4} \log 0,2 \approx 1,22 \text{ v.}$$

En el diagrama de la Figura 2 se lee a 1,22 v el valor:

$$r_{\text{Fe}^{2+}} = \frac{(\text{Fe}^{2+})}{(\text{Fe}^{3+})} = 10^{-7,5}$$

y, como este valor es inferior a  $10^{-2}$ , se puede admitir que:

$$a_{Fe^{2+}} \approx 10^{-7,5}$$

con un error inferior al 1%, admisible, como se ha indicado, en los cálculos de fracciones molares y de concentraciones.

En consecuencia, la composición de la disolución viene dada por los valores siguientes:

$$(Fe^{2+}) = a_{Fe^{2+}} \times C = 10^{-7,5} \times 10^{-1} = 10^{-8,5} M$$
$$(Fe^{3+}) = a_{Fe^{3+}} \times C = (1 - 10^{-7,5}) \times 10^{-1} \approx 10^{-1} M$$

## 5. NOTA FINAL

Las aplicaciones de los diagramas de relaciones molares no se limitan a los casos expuestos mediante los ejemplos anteriores, si bien éstos son representativos de su utilización al nivel más elemental.

Otra posibilidad más interesante es la interpretación cuantitativa de los diagramas de especies predominantes en función de dos variables químicas o de una variable química y la concentración analítica. Esta aplicación es útil para la especiación de una disolución cuando se conoce la concentración analítica de un elemento (por análisis) y las condiciones de equilibrio de la disolución, determinadas por medición de las variables o parámetros de que dependen (3).

## BIBLIOGRAFÍA

1. S. Vicente-Pérez, A. Cabrera y C. Boticario, *An. Quím.*, **1991**, Vol. 87, 884.
2. S. Vicente-Pérez, *Química de las disoluciones. Diagramas y cálculos gráficos*, Ed. Alhambra, Madrid (1979)
3. S. Vicente-Pérez, J.S. Durand, M.D.Álvarez, *An. Quím.*, **1991**, Vol. 87, 888.



## **PAPEL DE LA REOLOGÍA EN LA DIDÁCTICA DE LA QUÍMICA**

*Marc Barracó Serra, M. Àngels Adrià Casas,  
Ricard Torres Cámara, Pere Surià Lladó*

Universitat Politècnica de Catalunya  
Avenida Diagonal 647, 08028-Barcelona. barraco@mf.upc.es

*La consideración de la estructura de la materia y las leyes constitutivas que la rigen obliga al replanteamiento de su comportamiento. Los balances de masa y energía, que postula la Química, se deben formular de manera más general. La utilización industrial de sistemas complejos presupone un conocimiento más profundo de su intercambio de propiedades. La Reología se ocupa del estudio de estos sistemas, estando en condiciones de dar solución a problemas antes inabordables con el planteamiento de desarrollos teóricos y la programación de protocolos experimentales. Todo ello incide en unas perspectivas tecnológicas y en unas bases nuevas en el aprendizaje.*

### **1. POSICIÓN PREVIA**

En todos los campos de la técnica, y la Química no es una excepción, los procesos realizados conllevan y se fundamentan en balances de transporte de propiedades. La mayor o menor dificultad de este análisis hará necesario el uso de hipótesis simplificativas que limitarán notablemente el campo de aplicación de los resultados e impondrán los coeficientes de inseguridad (que encarecerán la explotación y sobredimensionarán el sistema).

La primera dificultad surge del conocimiento de la estructura de las sustancias que entran en juego en el balance mencionado. Tradicionalmente se ha definido la materia como un agregado de partículas de características diferenciadas.

El estado sólido se define como un conjunto de partículas muy cercanas entre sí (de forma que las distancias que las separan son comparables a su diámetro) y con unas fuerzas de cohesión muy intensas, lo que conlleva que sea muy difícil lograr una separación que, en caso de lograrse, se trata de un fenómeno irreversible y constituye la ruptura de la estructura macromolecular.

En el estado líquido, las fuerzas de repulsión predominan frente a las de cohesión, dando lugar a un conjunto de partículas más distanciadas, con mayor movilidad y propiedades más variables.

El estado gaseoso representa el caso más extremo de separación y movilidad de las partículas. Las fuerzas de repulsión son muy elevadas y las de cohesión casi despreciables.

Sin embargo, esta clasificación posee bastantes puntos de indefinición: es evidente que los agregados se sitúan en un continuo desde el sólido rígido hasta las

formas más volubles de gas, y que los estadios centrales de la clasificación (sólido, líquido y gas) son estudiables con una cierta facilidad. Sin embargo existe una fuerte incertidumbre en cuanto al comportamiento de los casos intermedios (sólido-líquido y líquido-gas).

Se definen dos metodologías de estudio:

*Metodología 1.* Basada en la estimación del comportamiento mecánico por aplicación de acciones exteriores al agregado de partículas y evaluación de los efectos producidos desde el punto de vista sensorial y fisiológico (método sensorial fisiológico/psicológico). Trata de conocer propiedades físicas de los materiales mediante apreciaciones de tipo subjetivo emitidas por un grupo de usuarios que actúan como jueces. Es obvio que las sensaciones manifestadas por los individuos que actúan de jueces sensitivos resultan ser muy diversas, lo que implica realizar un tratamiento posterior de las mismas. El conjunto de valores obtenidos se analizan estadísticamente, determinándose un valor central o medio y los criterios de dispersión. De esta manera, se determina el comportamiento del conjunto a partir de una globalización estadística de los valores particulares.

El procedimiento de valoración del comportamiento mecánico mediante el método fisiológico/psíquico se conoce como "Heptaestesis" (la rama de Psicología o Fisiología sensorial que trata de la percepción, a través de los sentidos, del comportamiento mecánico).

*Metodología 2.* El segundo tipo de metodología parte de la evaluación de las propiedades mecánicas usando para ello métodos eminentemente físicos, de manera que el valor de la magnitud apreciada no depende del individuo (excepción hecha de los posibles errores humanos en que se pueda incurrir), pues se obtiene a partir de mediciones experimentales a partir de instrumentación. Este sistema constituye el método físico.

El estudio físico del comportamiento de los materiales recibe el nombre de "Reología" (Ciencia de los materiales que estudia la deformación y el flujo).

La interrelación entre la Heptaestesis y la Reología se conoce con el nombre de Psicorreología.

## **2. JUSTIFICACIÓN DE LOS ESTUDIOS PSICORREOLÓGICOS**

Hay cuatro razones fundamentales que justifican la realización de los estudios psicorreológicos:

1. La relación existente entre las propiedades mecánicas de la materia y constitución. Así pues, el comportamiento reológico de los cuerpos físicos contribuye al conocimiento de su estructura.

2. El seguimiento de las propiedades psicorreológicas es primordial en el control de los procesos (materias primas -control de recepción-, control de fabricación y control de calidad). El sistema utilizado mayoritariamente es de tipo reológico, aunque a menudo se completa con análisis de tipo psicológico.

3. La herramienta inestimable que la Psicorreología proporciona en el diseño de instalaciones y optimización. Esto es consecuencia directa de los dos apartados precedentes, ya que indica que los elementos que integran la instalación se han de adecuar a las características de los productos manipulados.

4. El criterio que facilita en el resultado final del proceso, que es la venta y el consumo, comportando la ineludible problemática de saber el grado de aceptación del producto final.

### **3. ANÁLISIS DE LAS VALORACIONES PSÍQUICAS**

Por su propia naturaleza, las valoraciones psíquicas contemplan los siguientes aspectos:

- Se ha podido precisar la dispersión que se produce en las respuestas subjetivas (el cruce de sensaciones representa una dificultad casi insalvable).

- Es evidente que las condiciones ambientales afectan decisivamente las condiciones de los estados de la materia aunque afectan también, y de manera diferenciada, a los jueces. La conclusión es una distorsión de los resultados que se producen.

- Es preciso señalar la variación temporal que, a lo largo del tiempo, modifica los criterios de aceptación o rechazo. Esta evolución es lenta, siendo preciso pulsar la opinión de forma continuada.

### **4. VALORACIONES REOLÓGICAS**

La evolución del conocimiento del comportamiento de los materiales obedece al planteamiento de conocer el valor de todas sus propiedades en función de la geometría (posición) y del tiempo.

Para la prosecución del sistema analítico que las determine, es preciso realizar una definición más concisa del agregado de partículas que el realizado al comienzo de este trabajo.

La existencia de estadios intermedios de los tres estados clásicos hace que la visión intuitiva y empírica que se ha utilizado sea sustituida por otra más rigurosa que permita un desarrollo matemático lo más amplio posible.

Esta nueva forma contempla el análisis de los efectos producidos sobre los agregados de partículas al aplicar un conjunto de tensiones exteriores. De esta manera, al aplicar tensiones se pueden obtener movimientos (caso del sólido rígido), deformaciones (sólido elástico) y velocidades de deformación (fluidos).

En un caso general, pueden presentarse superposiciones de efectos (como los fluidos viscoelásticos).

Este sistema permite cuantificar los efectos y clasificar de forma más objetiva los estados de agregación. Situados en un caso general, se plantea el balance de propiedades y relaciones. De esta manera, un análisis detallado conduce a afirmar que,

en las condiciones definidas, las propiedades se determinarán resolviendo un sistema un sistema de derivadas parciales de segundo orden y no lineales, para las que no existe una solución general.

Son diversas las dificultades que presenta la resolución del sistema citado. Las hipótesis simplificativas facilitan la resolución pero limitan el campo de aplicación.

El desarrollo tecnológico hace insuficiente la formulación utilizada hasta el momento. Hipótesis como la elasticidad lineal y la newtoneidad de las sustancias no sirven cuando se actúa en condiciones extremas. Hay una gran diversidad de materiales existentes y muy diverso el comportamiento de los productos al variar las condiciones de su manipulación.

## 5. CRONOLOGÍA RECIENTE

Entre 1920 y 1930, aproximadamente, aparece la primera generación de reólogos que, en su evolución, han supuesto el establecimiento de un puente entre el sólido rígido de Euclides y el líquido ideal de Pascal.

Como el devenir de cualquier disciplina, se ha impuesto la especialización creándose ramas de la Reología. Entre ellas se distingue:

- *La Biorreología*, es decir la que se ocupa del estudio del comportamiento reológico de la materia viva y su relación con las anomalías funcionales y patológicas. Una sub-rama de vital trascendencia ha sido la Hemorreología.

- *La Reología de materiales*, que concreta su actividad en la búsqueda de nuevos materiales (con: resistencia a campos eléctricos y magnéticos, resistencia química, centrada fundamentalmente en la corrosión por agentes exteriores y ataques de agentes químicos en general, resistencia a radiaciones corpusculares, resistencia térmica, resistencia mecánica frente a esfuerzos aplicados, etc.

- *La Reología de polímeros y macromoléculas*.

Los primeros estudios de Bingham pusieron de manifiesto la relación que hay entre la viscosidad y la estructura atómica del conjunto macromolecular. Es una rama en la cual es necesario fijar la estructura microscópica relacionándola con las propiedades reológicas. Bachinsky (hacia 1913) cuantificó este hecho conocido con formulaciones entre la fluidez (inversa de la viscosidad) y el volumen libre. Las leyes expresadas no eran generales ya que el volumen libre depende de características estructurales específicas. De esta manera se ha enunciado que las propiedades de las macromoléculas vienen condicionadas por las dimensiones, forma, distribución de las partículas integrantes del conjunto y las interacciones de las cadenas constitutivas. Todo esto configura una serie de propiedades particularmente especiales.

Cerca de 1920 se desarrollan los estudios tensoriales, muy especialmente en condiciones extremas. Se determinan las tensiones límites para cada situación y se deduce el comportamiento del material para intervalos alejados de la ruptura.

Griffith propuso una teoría por la cual se determina el comportamiento de las sustancias mediante el análisis de la energía de fractura y deduce que esta energía es

función del grado de irregularidad (superficial o volumétrica) y de la forma y tamaño de estas irregularidades. Los criterios de Griffith no son aplicables a materiales dúctiles y los experimentos con polimetacrilato.

Se descubre la dependencia entre la viscosidad y el peso molecular, que varía en tendencia según el peso molecular sea bajo (viscosidad proporcional al peso molecular) o alto (viscosidad proporcional a la potencia del peso molecular medio). El valor crítico intermedio facilita los criterios de síntesis de mezcla de polímeros para una viscosidad determinada.

Los avances en el mundo de los plásticos han sido muy precipitados. Se iniciaron de manera notable con la síntesis de nitrato de celulosa, acetatos y celulosa regenerada (rayón).

Baekeland comercializó, a comienzos del siglo XX, una resina termoestable conocida como bakelita. Carothers y Du Pont realizaron la síntesis de polímeros policondensados, entre los que está el polihexametileno adipamida, que con el nombre comercial de nilón supuso el inicio de la gran expansión de los plásticos. La síntesis del polietileno a alta presión, la polimerización del etileno y la del propileno (que supuso la obtención de polímeros semicristalinos a nivel comercial) son de gran utilidad actualmente. Recientemente las investigaciones se centran mayoritariamente en la producción y uso de polímeros de baja densidad.

En lo concerniente a los métodos de cuantificación de propiedades reológicas, es preciso puntualizar que son necesarios sistemas especializados. Por otro lado, la aplicación de tensiones sinusoidales con apreciación de la influencia de la temperatura y la frecuencia de deformaciones proporciona información suficiente para el diseño y control de productos y procesos.

- *La Reología industrial*, presente en casi todas las actividades tecnológicas, trata en general de sistemas polifásicos (mayoritariamente bifásicos) dispersos. La forma más frecuente en que se presentan es la de dispersiones (partículas sólidas en un fluido) o emulsiones (gotas de líquido en un fluido).

La gran cantidad de factores que intervienen se pueden clasificar en:

- Fase dispersa (concentración en volumen, viscosidad (caso de emulsiones), dimensión, distribución y forma de las partículas (para las dispersiones), y estructura química).

- Fase continua (viscosidad, estructura química (polaridad, pH, ...), y presencia de electrolitos).

- Tensioactivos (estructura química, concentración (viscosidad de la emulsión y solubilización a elevadas concentraciones), película absorbida en la interfaz, y efectos electroviscosos).

- Agentes estabilizadores (hidrocoloides, hidróxidos metálicos y pigmentos).

- La Industria farmacéutica y cosmética, por el carácter de emulsiones de muchos de sus productos, así como la industria alimentaria y la industria química en general (pinturas, lubricantes, cementos,...), constituyen los grandes grupos de especialización.

- La Reometría no representa una especialización propiamente dicha, pero tiene carta de identidad explícita por ser el soporte de la metodología de medición. Las dificultades en el conocimiento de la respuesta mecánica de un agregado de partículas frente a acciones exteriores es lo suficientemente compleja para hacer necesaria una tecnología especial.

La variedad de instrumentación, su adecuación en la obtención de las ecuaciones constitutivas y el desarrollo de normativa dan fe de su preponderancia.

## **6. NOTAS DE PERSPECTIVAS**

En general se prevé un futuro cuyas líneas generales obedecen a los aspectos siguientes:

- Existencia de nuevos productos.
- Necesidad de mejoras en los productos actuales, consecuencia de las nuevas prestaciones exigidas.
- Reducción del coste de manipulación.
- Acción continuada de predicción, que se ha de realizar sobre los productos, para garantizar unas condiciones de trabajo adecuadas.

En cuanto a nuevas aplicaciones, son muy diversas, destacando:

- La utilización de los elementos en “micromáquinas”. En efecto, las dimensiones de las realizaciones técnicas son cada vez más reducidas. Es preciso adaptar el producto final a este referente. De esta manera:

- es preciso usar escalas “nanométricas” en los diseños,
  - es preciso prever una instrumentación adecuada a la dimensión del trabajo,
  - será preciso efectuar una simulación de la dinámica molecular.
- Las aplicaciones médicas. El proceso de elaboración de un diagnóstico por métodos fisico-químicos es complejo, y es por ello que no ha de extrañar que los avances en la incorporación de implantes artificiales en un organismo tenga un interés cada vez mayor.
- Optimización de la fabricación.
  - La modificación del sistema productivo presupone cambios importantes en el diseño del producto y las distintas fases del proceso.
  - Para llevar a cabo la aplicación con los criterios citados será preciso un control del proceso para que el producto final tenga las condiciones requeridas. Este control tendrá unos parámetros nuevos que se definirán y actualizarán continuamente.

## **7. IMPLICACIÓN EN LA DOCENCIA**

El planteamiento enunciado hace concebir cambios particulares en el desarrollo de la docencia de la Química. En efecto, es preciso considerar:

Los objetivos básicos en la adquisición del conocimiento intensificarán los aspectos de:

- Asimilación de contenidos, desde el punto de vista teórico y experimental.
- Conocimiento de los modelos teóricos e hipótesis de definición así como los posibles dominios de aplicación.
- Conocimiento de materiales y metodología experimental.
- Asimilación de los diferentes contenidos a través de la manipulación.
- Corrección de las deficiencias habidas en el proceso de aprendizaje.
- Consolidación y refuerzo de los conocimientos adquiridos para facilitar la comprensión global de la temática.

Los puntos de diferenciación con los desarrollos precedentes que adquieren protagonismo, se enuncian como:

- Más que nunca, es precisa la realidad experimental. Ésta realidad es compleja desde el punto de vista de su propia constitución, por lo tanto la definición de ésta y de su comportamiento ha de ser prioritario.

Sin embargo, esta experimentación necesita instrumental muy sofisticado ya que se han de aprehender fenómenos extraordinariamente rápidos, o lentos, de tipo transitorio y con prestaciones, de funcionamiento y ambientales, extremas.

- Al ser el contenido analítico de gran dificultad (las simplificaciones de casos simples no son aplicables) se ha de prever la realización de simulaciones que, en condiciones de potencia computacional suficiente, ofrecerán resultados que se tendrán que cotejar con la realidad para establecer su validez.

- Es preciso no olvidar el hecho que todo el proceso de conocimiento ha de desembocar en la aplicación práctica. Los planteos teóricos y experimentales tienen su justificación en el destino final que es la explotación industrial. Adquirir los criterios de actuación para el conocimiento y optimización de los procesos es, pues, la intención primordial.

## REFERENCIAS

1. C.W. Macosko, *Rheology. Principles, Measurements and Applications*, VCH Publishers, New York (1993).
2. J. Gil, *Proyecto docente*, Dept. C. Materials i Eng. Metal·lúrgica, E.T.S.E.I.B., Barcelona (1999).
3. I.C.E.-U.P.C., *Programa de formació per a la funció docent del professorat universitari*, Barcelona (1994).
4. C.L. Rohn, *Analytical Polymer Rheology*, Hanser/Gardner Publications, New York (1995).



## EL PORQUÉ DE LA QUÍMICA EN LA ENSEÑANZA DE LAS INGENIERÍAS

*M<sup>a</sup>. Cristina Rivero Núñez, M<sup>o</sup>. José Melcón de Giles*

E.T.S. de Ingenieros de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid  
Ciudad Universitaria s/n, 28040-Madrid. crivero@etsit.upm.es

La Química, junto con otras Ciencias básicas, es fundamental para la formación integral de un ingeniero. Ya que se trata de una Ciencia que debe ser razonada y no aprendida de memoria, la resolución de problemas resulta imprescindible. Hemos comprobado que la aplicación de algunas estrategias que involucran al alumno en el desarrollo de las clases, contribuye a aumentar el interés por ellas y a mejorar su comprensión así como el rendimiento en el proceso de aprendizaje.

### 1. INTRODUCCIÓN

En todas las épocas, los hombres han tratado de dominar su entorno para cubrir sus necesidades básicas. El éxito en estas tareas ha sido posible gracias a las diversas contribuciones de la Ciencia. Para explicar el mundo que nos rodea, se han elaborado diferentes teorías, la mayor parte de ellas basadas en la información que proporcionan los sentidos. Pero estos datos son macroscópicos y todo lo que se sabe del mundo microscópico son deducciones y abstracciones. Sabemos medir, transformar, usar las diferentes magnitudes, pero ¿qué es la masa? o ¿qué es la energía?. El objetivo de la Ciencia, a través de sus diferentes ramas, es llegar a conocerlo y, separar unas de otras es muy difícil, como indican sus propios nombres: Geofísica, Ingeniería Genética, Bioquímica, etc., pues se solapan haciendo que formen un continuo. Las Matemáticas, la Física y la Química son la base de todas las Ciencias que, sin excepción, contribuyen al avance científico y tecnológico del mundo. Su conocimiento es imprescindible para el desarrollo que conduce al progreso económico y social de la humanidad. A esto hay que sumarle los cambios producidos en las últimas décadas en aspectos científicos, técnicos, sociales y económicos que llevan a una globalización que tiene que reflejarse también en la formación de profesionales más generalistas con una elevada capacidad de síntesis.

Es difícil llegar hasta los primeros orígenes de la Química, probablemente podríamos remontarnos al antiguo Egipto (con las técnicas de embalsamamiento, vidriados u obtención de metales) que, fundido con la cultura griega, sobrevivió hasta el 200 a.C. Los comienzos de la teoría química, hacia el 600 a.C., pueden ser las ideas de Thales, que propuso que los cambios químicos eran cambios fundamentales de la materia y, posteriormente la primera clasificación de las sustancias, según Empédocles, en cuatro elementos: tierra, aire, fuego y agua. Hacia el 400 a.C. Leucipo

y Demócrito postulan la discontinuidad de la materia, apareciendo por primera vez la palabra “átomo”.

La *Khemeia* griega y egipcia fue renombrada por los árabes como *al-Kimiya*, que en Europa se tradujo por Alquimia. La Alquimia fue importante realmente desde el 600 hasta el 1100 d.C. El objetivo primordial de esta “ciencia” era la transmutación de los metales en oro. Paracelso empleó métodos alquimistas para la curación de enfermedades y pensó que la piedra filosofal podría servir como “elixir de la vida”, proporcionando la inmortalidad. Así, el siguiente período de la Alquimia, comprendido entre el 1500 y el 1650, se conoció como la era de la Yatroquímica o Química Médica, ya que la investigación consistió casi en su totalidad en la obtención de sustancias curativas. Las diferentes técnicas pasan de los maestros a los discípulos de forma oral y no hay prácticamente documentos escritos en los que se desarrollen los procedimientos seguidos. En cualquier caso, el primitivo arte de *Khemeia*, transformado en Alquimia, estuvo ligado a la religión y provisto de un carácter secreto, peligroso y misterioso, que hizo recelar a los no iniciados.

Aunque se siguió avanzando en los conocimientos químicos, no se considera una Ciencia hasta el siglo XVIII. Lavoisier, el padre de la Química actual, diseñó la balanza para el estudio de los procesos de combustión y, de los resultados obtenidos, postuló por primera vez la ley de la conservación de la materia. A partir de este momento, la Química progresa a lo largo del siglo XIX aplicando el método científico: toma de datos, generalización, hipótesis, comprobación de resultados y predicción de nuevos fenómenos.

La Química actual es cada vez más racional y deductiva, una Ciencia muy diferente de la del siglo XIX, totalmente empírica. El progreso de la Química ha repercutido en el progreso del mundo, ya que ocupa un lugar importante en el desarrollo de los avances tecnológicos en campos aparentemente tan diferentes como la exploración del espacio o la investigación sobre el cáncer. Como dice el Premio Nobel de Química de 2001, Ryoji Noyori, es la “Ciencia de la creatividad”.

Actualmente, se puede considerar que la Química es una rama de la Ciencia que trata de la constitución, propiedades y transformación de la materia, siendo estos términos de un contenido muy amplio y, obviamente, relacionados con otros campos del saber. El conocimiento de la estructura de la materia ha permitido la fabricación de nuevos plásticos, fibras, antibióticos para combatir las enfermedades, drogas contra el dolor, etc. A través del estudio de la transformación de la materia, se ha logrado la síntesis de productos de mejores cualidades técnicas y económicas, y detener reacciones no deseadas como la oxidación de los metales o la descomposición de los alimentos.

Es imposible entender un mundo medianamente racional si no se comprenden la Ciencia y la Tecnología. Hay infinidad de ejemplos en los que la Química juega un papel primordial: el análisis químico de una capa de arcilla localizada sobre sedimentos del Cretácico, permitió encontrar un sorprendentemente elevado contenido en iridio (elemento muy escaso en la corteza terrestre pero muy abundante en los

asteroides), lo que llevó a formular la hipótesis de que la extinción de los dinosaurios fue consecuencia del impacto de un asteroide. La Química ha permitido desentrañar la estructura de sustancias como el grafito y el diamante, aparentemente muy similares, ya que su composición es la misma; pero esa diferencia de estructura explica que las propiedades sean tan diferentes: el primero es un buen conductor, se emplea en la fabricación de electrodos o como lubricante, mientras que el segundo, aislante, se usa en joyería o como abrasivo.

Se han podido sintetizar algunas sustancias de múltiples utilidades, como el ácido fosfórico, que es empleado como fertilizante, detergente, o en la industria alimentaria. Los dispositivos empleados para el control de alcoholemia se basan en una sencilla reacción química en la que el etanol del aliento transforma el dicromato potásico (anaranjado) en sulfato de cromo (verde más o menos intenso en función de su concentración y, por tanto, del contenido alcohólico). El estudio de la descomposición del ozono en la estratosfera permite evaluar el deterioro de la capa de ozono y, al mismo tiempo, buscar soluciones para paliar el problema. La liofilización da origen al café soluble.

El papel que está jugando la Química, tratando de resolver el problema generado por el *Prestige*<sup>7</sup>, es fundamental, tanto en los análisis que se van realizando para determinar el grado de contaminación, como en las técnicas empleadas para la eliminación de los residuos.

Algunas aplicaciones anecdóticas: en la sociedad romana se producía un relativamente elevado número de fallecimientos por el llamado “mal de amores”, en los meses siguientes al casamiento. Actualmente se sabe que la causa estaba en los cosméticos, ya que se empleaba cinabrio (sulfuro de mercurio), altamente tóxico. Una de las causas del elevado número de bajas que se produjeron en la campaña de Rusia entre las tropas de Napoleón, está en que los botones de las guerreras que usaban eran de estaño, el cual sufre una transformación alotrópica a temperaturas entre 15 y 20° bajo cero, dando una estructura frágil y quebradiza.

Específicamente en las ingenierías, hay también múltiples aplicaciones de la Química. Hoy en día, la investigación científico-técnica discurre por algunas direcciones fundamentales como todo lo relacionado con los seres vivos y su transformación: Biología Molecular, Ingeniería Genética, Biotecnología, etc. y hacia la generación y utilización de nuevos materiales: los grandes avances en técnicas relacionadas con la comunicación, la inteligencia artificial, la robótica o la tecnología espacial, son imposibles si no se dispone de nuevos materiales con altas prestaciones y un grado de especificidad muy elevado. Ambas áreas están íntimamente relacionadas

---

<sup>7</sup> El petrolero *Prestige* se averió el 13 de Noviembre de 2002, a 51 km de la costa de Galicia. Al cabo de tres días se hundió, con 77.000 toneladas de fuel en su interior. El combustible derramado produjo uno de los mayores desastres ecológicos que se han conocido en España. Miles de ciudadanos colaboraron en la limpieza del *chapapote* de las playas, en una muestra de solidaridad ejemplar. El tratamiento del problema fue causa de una gran controversia política.

con la Química, así como los fenómenos de láseres y fibra óptica, la superconductividad, la industria del automóvil, aeronáutica o naval, la construcción, la metalurgia, telefonía, ordenadores, medicina, cosméticos, detergentes, conservación de alimentos, embalajes, fertilizantes, industria del petróleo, nuevas formas de energía, almacenamiento de energía, y un larguísimo etc.

## 2. OBJETIVOS

La Química es una Ciencia cada vez más deductiva, los conocimientos químicos se deben adquirir de forma racional, evitando aprender cosas de memoria y preguntándose el porqué de los hechos; así se llega a comprender y deja de ser algo misterioso. No se trata de un conjunto de información que deba memorizarse, sino que debe “practicarse”: leer, observar y, como complemento, resolver problemas, aspecto al que se debe prestar especial atención.

A lo largo de nuestros años de docencia, hemos encontrado que esta labor no debe ir dirigida únicamente a proporcionar conocimientos, sino también a fomentar todas aquellas técnicas que nos permitan conseguir una formación lo más completa posible de nuestros alumnos.

También sabemos que no existe ningún método o teoría cuya validez se haya demostrado hasta el punto de tener la seguridad de que, aplicando sus principios, podamos obtener necesariamente los resultados apetecidos.

Todo esto no quiere decir que no se pueda progresar en el aprendizaje (1), más bien lo contrario. Si logramos conocer a fondo a nuestros alumnos, tanto en su potencialidad como en lo que terminarán siendo, podremos elaborar estrategias de captación de sus intereses.

En la E.T.S. de Ingenieros de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid, los alumnos acceden a la Universidad tras unas pruebas de selección en las que se les exige una nota de alrededor de 8 sobre 10; por tanto, podemos pensar que han desarrollado ya algunas habilidades y destrezas en el aprendizaje. Nuestra labor es conseguir que presten atención y dediquen tiempo a las asignaturas. Todas ellas están relacionadas con la Química: Estructura de la Materia, Fundamentos de Ciencia de los Materiales, Simulación de Propiedades de la Materia y Los Plásticos en las Tecnologías de la Información y la Comunicación, y tienen en común que, desde el plan de estudios de 1994, son optativas, por lo que los mismos alumnos han hecho ya una elección. Esto puede hacer pensar en una actitud positiva hacia ellas, puesto que tienen la posibilidad de matricularse en otras. Sin embargo, la predisposición favorable no es del 100 % ya que algunos de ellos las eligen por razones de horarios, fechas de examen, etc.

Para mantener el interés, se debe aprovechar la base práctica de estas asignaturas y acercar la Química a los alumnos de ingeniería, tanto en los laboratorios como con el desarrollo de problemas (2). Estos últimos, en particular, deberían reflejar el mundo real a través de ejemplos: aviones en Aeronáutica, barcos en Navales,

análisis de tierras en Agrónomos, Montes o Forestales, y radiaciones o conductividad eléctrica en Telecomunicación son algunos posibles ejemplos.

En las diferentes materias que hemos impartido en los últimos años, se han ensayado diversas estrategias, ninguna de las cuales se revela como solución definitiva, pero todas ellas indican (a través de las notas obtenidas, que son el único indicador de que disponemos y la única forma de evaluar los resultados) que aquellos alumnos que participan en las tareas planteadas superan en su calificación a los que no lo hacen.

La primera conclusión, muy clara, es que las estrategias de captación de atención del alumno y de estimulación son fundamentales, tanto para potenciar la asistencia a clase, que consideramos que tiene una gran importancia en el aprendizaje, como para promover la participación en los trabajos voluntarios que se proponen (3).

A lo largo de los años, hemos ido aplicando diversas estrategias con resultados diferentes:

- Estrategias individuales basadas en la resolución de problemas en casa, cuyos enunciados han sido repartidos previamente. De modo voluntario por parte del alumno, éste explica al resto de sus compañeros su forma de resolverlo. Esto les ayuda a expresar en público ideas nuevas y a hacerse comprender por los demás (a veces es necesario hacerlo de dos o tres formas diferentes). Esto contribuye a fijar los conceptos en la memoria a largo plazo (4). En todo momento, el profesor debe dirigir la exposición, aportando pequeñas ayudas que estimulen o activen los recursos y la confianza en sí mismo del alumno.

- Resolución de problemas por grupos, que se entregan para su posterior evaluación por parte del profesor, repartiéndose aquéllos que están bien resueltos al resto de la clase. Este método va encaminado a que cada grupo se responsabilice de la resolución de un conjunto de problemas que se añaden a los ya vistos en el aula.

- Oferta de temas a los alumnos para que los preparen y los expongan en clase en vez del profesor que, previamente, corrige los borradores y tutela la exposición. Deben ser temas novedosos y atrayentes para ellos (dependiendo de las especialidades). No puede hacerse con muchos alumnos en cada curso (un 5 ó 10 % máximo dependiendo del tamaño del grupo) pues al ser asignaturas cuatrimestrales, el tiempo docente está muy limitado. Al adquirir la responsabilidad de esta tarea a principio de curso, la asistencia a clase es más regular, y tratan también de aprender la forma de exponer. Todos aquellos alumnos que han optado por ello, no sólo aprueban sino que además alcanzan calificaciones elevadas.

- Resolución de problemas en clase. Con el apoyo del profesor, grupos como máximo de tres alumnos (para que sea obligada la participación de todos ellos) resuelven cuestiones planteadas en el aula. Esta actividad (5) fomenta la aplicación de conceptos explicados en clase, el trabajo en equipo y la discusión científica, ya que sólo se presenta un trabajo por grupo. Esto se traduce en una mayor asistencia a clase. El resultado es muy positivo porque con ello se afianzan los conocimientos y, con un menor esfuerzo en vísperas del examen, aprueban el 98 % de los asisten regularmente

a clase (como máximo dos faltas en el cuatrimestre). Aumenta también el número de alumnos presentados, ya que se sienten más seguros.

- Ya que el número de alumnos no presentados en las últimas convocatorias es muy bajo, en el último curso se han realizado exámenes (6) a lo largo del cuatrimestre que, para aquéllos que lo superaban, representaba liberarse de esa parte de la materia. Sólo disponemos de datos de febrero de 2003, pero hemos observado que han participado más alumnos (el 68 % frente al 40) y de ellos han superado el curso un 97 %, mientras que del 32 % restante sólo aprueban el 6,5 %.

- En otra de las asignaturas se están aplicando las nuevas tecnologías como método de atracción y fijación de ideas. El 50 % de los créditos son teóricos y el otro 50 % son prácticas que constan de un *software* con el que pueden ver en la pantalla del ordenador lo que se ha explicado en teoría y que, a veces, es de difícil visualización (un efecto túnel o la distribución de bandas de energía en un semiconductor). Los temas se encuentran en la Intranet de la Escuela y pueden acceder a ellos con un código que reciben al matricularse. Cuando han realizado la práctica, proceden a contestar una serie de preguntas que se encuentran asociadas a ella. El profesor recibe las respuestas electrónicamente, las corrige y califica. Asimismo, dentro del portal, hay un foro de debate que permite que se hagan preguntas entre ellos y al profesor. El interés que manifiestan los alumnos es muy elevado, por lo novedoso y diferente con respecto a las clases tradicionales, como pone de manifiesto el elevado número de ellos que solicitan cursarla, aunque el aula de ordenadores está limitada a 50 puestos por lo que no puede ser una asignatura masiva. En los 5 años que lleva impartándose, el 98% de los alumnos aprueba, y los que no lo hacen es por faltas de asistencia, ya que ésta es obligatoria. Hay que destacar que cualquiera de las estrategias aplicadas implican un elevado aumento de la dedicación docente, porque es necesario emplear mucho tiempo en la corrección de ejercicios, preparación de exámenes o temas así como en la elaboración de problemas, temas, cuestiones, etc.

Las tablas 1 y 2 recogen, a modo de resumen, el resultado medio obtenido en los últimos 5 años con la aplicación de las diferentes estrategias. Algunas de ellas se han aplicado en la misma asignatura y otras en asignaturas diferentes, pero los resultados porcentuales son los mismos, por lo que se puede concluir que el éxito o no de una determinada estrategia, no depende tanto de la asignatura en sí como del interés y la dedicación de los alumnos como consecuencia de una clases más dinámicas.

#### **4. CONCLUSIONES**

1. El mercado laboral requiere cada vez en mayor medida ingenieros con una elevada capacidad de síntesis, por lo que la enseñanza de la Química, así como la de otras Ciencias básicas, es necesaria para la formación integral de estos profesionales.

2. La enseñanza de la Química tiene que apoyarse en métodos que ayuden al alumno a aclarar conceptos y fijar ideas que deben ser razonadas. Por su carácter aplicado, hay que apoyarse en los laboratorios y las clases de problemas.

Tabla 1. Resultados sobre el total de alumnos matriculados.

ESTRATEGIAS	PRESENTADOS	APROBADOS <sup>1</sup>
Método tradicional	40%	60%
Problemas resueltos en casa, individualmente	60%	65%
Problemas en grupo	62%	66%
Elaboración de temas	50%	63%
Resolución de problemas en clase	76%	78%
Exámenes liberatorios	71%	78%
Clases con ordenador	98%	98%

<sup>1</sup> Porcentaje sobre el número de alumnos presentados.

Tabla 2. Resultados sobre el total de alumnos que participan en las diversas estrategias.

ESTRATEGIA	PARTICIPAN	PRESENTADOS <sup>2</sup>	APROBADOS <sup>3</sup>
Problemas resueltos en casa, individualmente	30%	70%	70%
Problemas en grupo	80%	80%	80%
Elaboración de temas	5%	100%	100%
Resolución de problemas en clases	74%	100%	98%
Exámenes liberatorios <sup>1</sup>	68%	100%	97%
Clases con ordenador	100%	98%	98%

<sup>1</sup> Datos referidos exclusivamente a la convocatoria de febrero de 2003.

<sup>2</sup> Porcentaje sobre el total de alumnos que participan.

<sup>3</sup> Porcentaje sobre el número de alumnos presentados.

3. Hemos comprobado que todas aquellas estrategias en las que se implica al alumno en el desarrollo de las clases son altamente eficaces para un aprendizaje más completo.

4. Las diferentes estrategias producen resultados análogos cuando se aplican a asignaturas distintas, por lo que parece que la eficacia de las mismas está en relación con el aumento de interés de los alumnos al tratarse de clases más activas.

5. Del análisis de los resultados obtenidos en los últimos años se extrae que con estas estrategias aumentan tanto la asistencia a clase, por ser más participativas, como el número de alumnos presentados y el porcentaje de aprobados, porque se facilita el aprendizaje.

## REFERENCIAS

1. R.S Nickerson, D.N Perkins y E.E. Smith, *Enseñar a pensar. Aspectos de la Aptitud Intelectual*, Ed. Paidós, M.E.C., Madrid (1990).
2. M.C. Rivero Núñez, P.J. Salas Peralta, *Innovación de la enseñanza. ¿Por qué hacemos problemas?*, I.C.E. de la U.P.M., Madrid (1997).
3. Alain, *Charlas sobre educación. Pedagogía infantil*, Ed. Losada, Madrid (2002).
4. A Baddeley, *Su memoria: cómo conocerla y dominarla*, Ed. Debate, Madrid (1990).
5. A. Tapia, *Motivación y aprendizaje en el aula. Cómo enseñar a pensar*, Ed. Santillana, Madrid (2000).
6. E. Valls, T. Mauri, E. Barberá, *Aprender a construir conocimientos*, Cuadernos de Pedagogía, nº. 318 (Noviembre 2002).

## **DISTEST: ESTUDIO CONCEPTUAL DE ALGUNAS DE LAS PROPIEDADES DE LA DISTRIBUCIÓN NORMAL MEDIANTE MICROORDENADOR**

*María M. Prieto García<sup>1</sup>, Ángel Fernández Tena<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Departamento de Estadística, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca  
mmprieto@usal.es

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Química y Textil, Facultad de Ciencias Químicas  
Universidad de Salamanca

*Distest es una simulación que permite el estudio conceptual de algunas de las propiedades de la distribución normal o gaussiana y aplicaciones de las mismas a casos prácticos, mediante microordenador.*

### **1. INTRODUCCIÓN**

En Química, como en todas las Ciencias experimentales, surge el problema de tener que determinar valores numéricos de una o más magnitudes.

A veces, las magnitudes deseadas pueden medirse directamente y, en otros casos, hay que hacer un tratamiento matemático, gráfico o numérico de los datos a fin de calcular los valores de ciertas magnitudes diferentes de las directamente observadas. Una vez calculado el valor de una magnitud conviene determinar su exactitud ya que siempre hay presentes errores experimentales y, como ordinariamente no se conoce el verdadero valor de la magnitud, habrá que encontrar alguna forma de estimar el error experimental. Para este fin se utiliza el análisis estadístico.

La Estadística estudia un número finito de características de un conjunto de individuos que constituyen lo que se denomina población estadística. Tales poblaciones pueden ser finitas o infinitas, según el número de individuos que la constituyen. Cada ente o individuo que componen la población se acostumbra a denominar unidad estadística y a una colección finita de unidades estadísticas, repetidas o no, se denomina muestra, conociendo como tamaño muestral el número de unidades estadísticas que hay en la muestra. A partir de las propiedades de una muestra extraída de la población, la Estadística efectuará inferencia acerca de ésta, cuyo estudio puede ser imposible, demasiado pesado o costoso. Esta es la razón por la cual la Estadística como Ciencia se suele clasificar en Estadística descriptiva, cuya misión es la de dar reglas y normas para decir como hay que recoger los datos, ordenarlos en tablas, representarlos gráficamente y analizarlos, es decir dar una serie de medidas que permitan manejarlos, y Estadística inferencial, cuyo objetivo es proporcionar procedimientos que permitan generalizar las propiedades obtenidas de la muestra a la población de la cual fue extraída.

En ese conjunto de unidades estadísticas, se miden u observan una o varias características, las cuales pueden o no ser cuantificables, dando lugar a lo que se conoce como caracteres cuantitativos o caracteres cualitativos, y a las diferentes situaciones de cada carácter se denomina valor o modalidad; así, si el carácter a estudiar es el aspecto de una sustancia, no cuantificable, las modalidades pueden ser: lisa, rugosa, polvo, granulada etc., si lo que se estudia es la concentración de una disolución, cuantificable, los valores serán los distintos números reales positivos.

Se conoce como variables estadísticas a la correspondencia que asocia a cada unidad estadística de la muestra la modalidad o valor del carácter objeto de estudio.

Considérese un experimento aleatorio cuyo espacio muestral sea el conjunto  $S$ . Una función con valores reales que está definida sobre el espacio muestral recibe el nombre de variable aleatoria (v.a. abreviadamente). Para cada v.a. se define la función:

$$F(x) = P(X = x)$$

que se conoce como función de distribución y da la probabilidad de que la variable aleatoria tome valores menores o iguales a un valor determinado.

Una variable aleatoria  $X$ , se dice que es discreta si sólo puede tomar un número finito de valores distintos, y se dice que es continua si puede tomar cualquier valor.

Existen varias distribuciones especiales de variables aleatorias, tanto discretas como continuas, que son muy utilizadas en aplicaciones estadísticas, de entre ellas se va considerar la de variable continua denominada "distribución normal".

Existen varias razones que pueden hacer ver la importancia de esta distribución (1). Podemos citar como primera de estas razones aquella que está directamente relacionada con sus propiedades matemáticas; así por ejemplo, si una muestra aleatoria es seleccionada de una población de una variable que sigue una distribución normal, suelen obtenerse explícitamente las distribuciones de varias funciones importantes de las observaciones muestrales que, además, resultan tener una forma sencilla.

Por tanto, desde un punto de vista matemático, resulta conveniente suponer que la población de donde se extrae una muestra aleatoria se ajusta a una distribución normal.

Otra razón es que, en cualquier campo de la investigación de las más diversas naturalezas (en el aseguramiento de la calidad en la industria, etc.), la distribución de sus observaciones se aproxima en buena media a la distribución normal. Es frecuente encontrar publicaciones de la distribución de edades, de pesos de individuos, de resistencias de materiales, o coeficientes intelectuales, etc. que siguen esta ley (2).

Y quizá la importancia de la distribución normal está basada en el "Teorema Central del Límite", que podemos enunciar diciendo: *supóngase que las variables  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  constituyen una muestra aleatoria de una distribución normal con media  $\mu$  y varianza  $\sigma^2$  y sea  $x^*$  la media de una muestra elegida aleatoriamente, entonces  $x^*$  tiene una distribución normal con media  $\mu$  y varianza  $\sigma^2/n$* . Incluso si la población de partida no sigue una distribución normal, la distribución de las medias de todas las

muestras extraídas, si el tamaño de las muestras es grande, también se aproxima a una distribución normal.

## 2. SIMULACIÓN

La aplicación que se presenta en este trabajo, tiene por finalidad simular algunas de las propiedades que hacen que su uso sea tan generalizado. Dentro del estudio que permite realizar esta simulación, destacan los siguientes apartados:

- Influencia de la media y desviación típica.
- Distribución muestral de medias.
- Estandarización de distribuciones normales.
- Distribución estándar.
- Área bajo la curva tipificada.

Una breve descripción de la función realizada por cada una de estas opciones es la siguiente:

- Influencia de la media y desviación típica: muestra la acción que sobre la distribución normal ejerce la variación del:

- Valor medio.
- Desviación típica.
- Ambos parámetros.

- Distribución muestral de medias: Permite obtener muestras a partir de una población, previamente definida, calculando sus estadísticos, y representar, junto con la curva de la población el intervalo de confianza, del 95%, de cada muestra obtenida. Las muestras obtenidas son memorizadas hasta un máximo de cien, y a partir de la décima, permite realizar una distribución muestral de medias.

- Estandarización de distribuciones normales: realiza la transformación de una población, definida inicialmente, en otras de distinta media y desviación típica, en función del desplazamiento del origen de coordenadas y del cambio de escala. Como caso particular se transformará la población inicial en una población normalizada.

- Distribución estándar: establece una comparación entre los valores límites, para obtener una misma fracción de área centrada en torno al valor medio, en función del valor medio y la desviación típica de la población. Como caso particular, permite la comparación con la población estandarizada.

- Área bajo la curva tipificada: permite calcular el área bajo la curva normalizada, en función del valor de  $z$ , para valores de  $z \rightarrow 0$ , bien en forma de tabla, bien mediante cálculo gráfico (3).

## 3. MODO DE OPERACIÓN

Seleccionando la opción *influencia de la media y desviación típica*, aparece en pantalla la gráfica correspondiente a una distribución normal, con unos determinados

valores iniciales de media y desviación típica, que pueden ser modificados, mediante unos marcadores de desplazamiento, con el uso del cursor (Ver Figuras 1 y 2).

Una opción en forma de botón permite dibujar la curva correspondiente a la población definida, con la posibilidad de elegir entre borrar o no las gráficas existentes previamente, y así establece un estudio comparativo entre los resultados obtenidos.

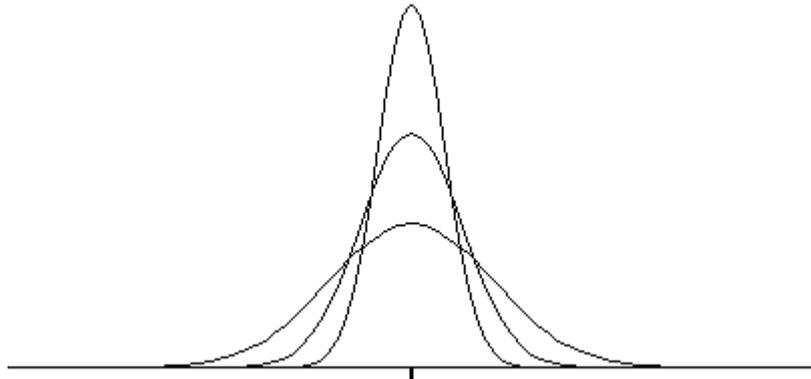


Figura 1. *Influencia de la desviación típica.*

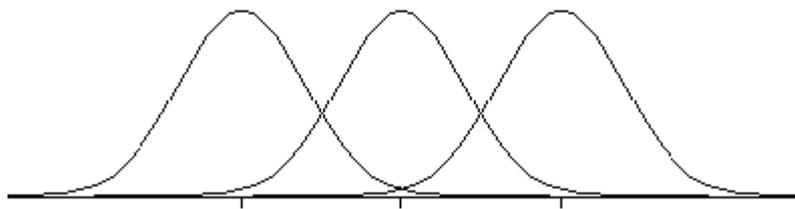


Figura 2. *Influencia de la media.*

- Seleccionando la opción *distribución muestral de medias*, aparecen en pantalla unos marcadores de desplazamiento mediante los cuales, y de forma análoga a como en la opción anterior, se definirán los parámetros de la distribución y el número de datos de cada muestra.

Una opción en forma de botón permite dibujar la gráfica de la población normal definida, los valores de la primera muestra, junto con sus estadísticos y su intervalo de confianza, el cual también se marca sobre el eje de la gráfica de la población de partida.

Repitiendo el proceso se van generando sucesivas muestras, que son memorizadas hasta un máximo de cien. A partir de estos valores cada nueva muestra sustituirá a la muestra memorizada más antigua, como se muestra en la Figura 3.

Cuando el número de muestras es igual o superior a diez aparece una nueva opción en forma de botón que permite realizar la distribución de los valores medios de las muestras obtenidas hasta ese momento, calculando sus estadísticos y realizando su representación junto con la de la población original, de esta manera se puede comparar sus medias y desviaciones típicas.

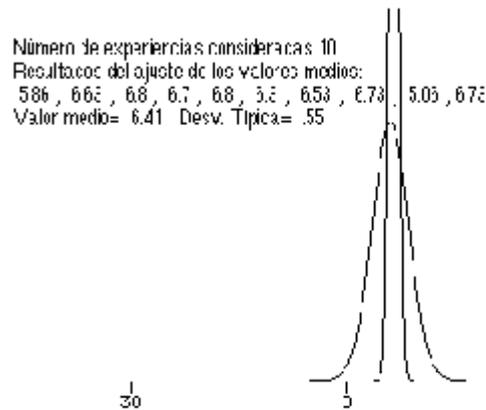


Figura 3. *Distribución muestral de medias y su original.*

- Seleccionando la opción *estandarización de distribuciones normales*, aparece en pantalla una población de partida, con unos determinados valores iniciales de media y desviación típica, y su gráfica correspondiente en la parte inferior. Esta población de partida se puede modificar, mediante unos marcadores de desplazamiento, de forma análoga a como en las opciones anteriores. Para representar la nueva población definida se hace uso de una opción en forma de botón.

Para fijar la posición del nuevo origen de escala, basta *pinchar* en la posición deseada del eje, y esa posición será tomada como nueva posición del origen. La diferencia entre la nueva posición y la original determina el valor *desplazamiento*.

Gráficamente se observa como la cota correspondiente al origen se ha desplazado a esa posición.

Para fijar el valor de la unidad de escala, se hará uso de un nuevo marcador de desplazamiento, que *pinchando* en la posición deseada haga a la nueva unidad  $n$  veces la unidad antigua. La relación entre los valores de la nueva unidad y la antigua determina el valor *factor*.

En función de los valores de *desplazamiento* y *factor*, se determinan los valores de los parámetros de la población modificada con distintos valores de media y desviación típica y, como caso particular, una población modificada de valor medio igual a cero y desviación típica igual a la unidad, lo que se conoce con el nombre de estandarización de la distribución.

Los valores de la nueva variable en función de la antigua vendrán dados por la relación:  $Z = (x - \text{Desplazamiento}) / \text{Factor}$ , como se indica en la Figura 4.

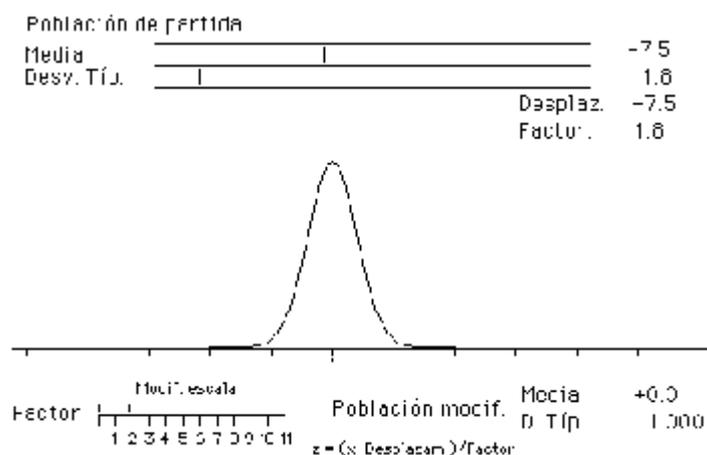


Figura 4. Estandarización de una distribución normal.

- Seleccionando la opción *distribución estándar*, aparece en pantalla una población de partida, con unos determinados valores iniciales de media y desviación típica, y seleccionada la fracción de área centrada igual a 0,5 de entre los valores posibles, (0,25; 0,5 y 0,75) y los valores límites de la variable que define esta fracción de área, como se indica en la Figura 5.

Se puede definir una nueva población haciendo uso de los marcadores, como en los apartados anteriores, así como seleccionar otra fracción de área centrada. En función de los parámetros de la población y de la fracción de área centrada, se obtendrán los correspondientes valores límites.

La representación de la población definida y de la fracción de área seleccionada se obtiene al *pinchar* sobre una opción en forma de botón.

Modificando los valores de los parámetros de la población, se puede observar la relación entre los valores límites que definen una misma fracción de área bajo la curva normal y, como caso particular, para la distribución de valor medio igual a cero y desviación típica igual a uno.

Combinando esta opción con la anteriormente analizada, estandarización de distribuciones normales, se podrá demostrar la posibilidad de obtener los valores límites que definen una determinada fracción de área, haciendo uso únicamente de la tabla correspondiente a una curva normalizada, la cual será objeto de la siguiente opción.

- Seleccionando la opción *área bajo la curva tipificada*, se puede obtener en pantalla la representación de la curva normal tipificada para valores de Z superiores a cero. Haciendo uso del cursor se puede seleccionar la cota deseada sobre el eje de





## LA QUÍMICA Y LA VIDA COTIDIANA

*Manuel Calvo Hernando*

Asociación Española de Periodismo Científico. calvo.m@apmadrid.es

*“En el mar privado de nuestro torrente circulatorio  
llevamos una copia química, en miniatura,  
del mar primitivo”.*

*William Grey Walter en “El cerebro viviente”*

*La Química ha sido llamada no sólo una de las reinas de la Ciencia, sino el más bello juego de escondite entre el ser humano y la naturaleza. Una parte considerable de la calidad de vida actual se debe a la Química, aunque su mal uso ha originado muchos problemas.*

Hoy es posible comprender la vida desde esta Ciencia, y descifrar la Química del universo. La Química está en el origen de la vida y en la sistematización de su naturaleza. Esta Ciencia ha evolucionado desde la Edad de Piedra hasta la actualidad. Es una disciplina sorprendente y ha ayudado a la humanidad a saber de qué se compone el mundo en que vivimos, cómo han progresado los organismos desde que eran menos que bacterias y ha permitido a la inteligencia humana repetir la naturaleza y crear materiales que no existían en ella. Hace 200 años, Lomonosov predijo genialmente que la Química extendería sus raíces a toda la actividad del hombre. Si de repente tuviéramos que prescindir de la Química, nos parecería haber retrocedido hasta el hombre de las cavernas.

La rama básica del dominio del hombre sobre su vida y su salud es esta Ciencia y gracias a ella la medicina ha realizado progresos sensacionales. Hoy, la síntesis de los medicamentos permite, por ejemplo, reducir la tensión arterial, regular la actividad del sistema cardiovascular, etc. Un grupo de medicinas sintéticas se ha utilizado para el tratamiento de las crisis de hipertensión y los productos para combatir los tumores malignos son cada día más eficaces. La Química y la ingeniería se combinan para desarrollar órganos artificiales que permitan realizar transplantes y los cirujanos se valen también de productos químicos, del mismo modo que las restantes especialidades de la medicina. Es difícil de enumerar todo lo que la Química hace por la medicina y la salud.

En los últimos tiempos, se ha producido un encuentro entre la Biología y la Química, que ha cambiado el rostro del mundo. Todavía en el siglo XIX existía una clara diferencia entre la Química y la Biología, y el advenimiento de la Bioquímica abrió las puertas a cambios drásticos en el arte de conocer el organismo y de curar sus problemas.

El profesor Ballester ha recordado que el interés del ser humano por la Química se remonta a los propios albores de la civilización. Nuestros ancestros aprendieron a transformar algunos materiales que la naturaleza brindaba a la humanidad y a mejorarlos, según sus necesidades o apetencias. Así se empezó a transformar la leche en queso, el mosto en vino, se curtieron las pieles, se transformaron los minerales en metales, se obtuvieron tintes vegetales, etc. Sin embargo, hasta mediados del siglo XIX las transformaciones químicas parecían no tener demasiado interés práctico. Pero pronto se vio que no era así.

Hoy, los materiales artificiales han llegado a superar a la naturaleza en muchos aspectos. Las fibras modernas han sustituido ventajosamente a las naturales y surgieron materiales como los plásticos, que no existían en la naturaleza; los detergentes, en lugar del jabón; o los colorantes, pigmentos y fertilizantes. Y se ha ido más lejos, cubriendo grandes necesidades como la refrigeración artificial y el control agrícola por hormonas y herbicidas, creando incluso los aerosoles para la medicina, la enfermería, la perfumería, la cosmética, la alimentación, las pinturas y barnices. Los farmacólogos de síntesis saben hoy reproducir combinaciones químicas complejas, extraídas originalmente de los vegetales y mejorar su acción. Radicalmente nuevos son los productos químicos que están mejorando y cambiando actividades tan decisivas como las ingenierías

La Química contribuye hoy a liberarnos de la esclavitud material e, indirectamente, a elevar nuestro espíritu. La Química promueve el progreso y el bienestar humano por el descubrimiento y la invención, principalmente. Dentro de la Química, la innovación tecnológica ha mejorado de modo radical las calidades, rendimientos, procedimientos, métodos y técnicas, y ha permitido conocer un buen número de leyes fundamentales, es decir, las relaciones esenciales que regulan las transformaciones químicas y que nos proporcionan un mayor dominio sobre la materia (1).

El profesor Martín Municio, recientemente desaparecido, hizo en *ABC*, en 1997, un "Elogio de la Química" (2) como un tributo entrañable a esta Ciencia y a sus hombres y mujeres representativos. En 1998 publicó, en el mismo diario, otro bello trabajo titulado "La Química romántica". En este último artículo afirmaba: "La pasión de la Química -más mística la alemana, más cartesiana la francesa-, la institución de la Química se entremezcló con las pasiones de la revolución; con la leyenda, todo lo apócrifa que se quiera, de *la République n'a pas besoin de savants*.

Dos libros importantes en la divulgación científica (entre otros muchos), *La Ciencia como escritura*, de Locke (3), y *Savants et Ignorants*, de Raichvarg y Jacques (4), contienen aspectos de interés sobre la Química y su popularización. Locke cita la advertencia de los escritores químicos Louis y Mary Fieser a un químico neófito sobre cómo componer un artículo científico y señalan los defectos que deben evitarse. Los autores de *Savants et Ignorants* recuerdan que la divulgación de la Química es muy especial en relación con la de otras disciplinas, ya que las publicaciones de los

alquimistas se sitúan en lo opuesto de la difusión, y citan a una señora, Marie Meurdrac y su libro de Química “en favor de las damas”.

## REFERENCIAS

1. M. Ballester, *Arbor*, Junio (1968).
2. A. Martín Municio, *Elogio de la Química*, *ABC*, 11 Enero (1997); *La Química romántica*, *ABC*, 7 Febrero (1998).
3. D. Locke, *La Ciencia como escritura*, Ed. Frónesis Cátedra, Universidad de Valencia (1997).
4. D. Raichvarg y J. Jacques: *Savants et Ignorants. Une histoire de la vulgarisation des Sciences*, Ed. Seuil, París (1991).



## DIFUSIÓN DE LA QUÍMICA EN LOS MUSEOS DE CIENCIA

*Pablo Martínez Mena, Jerry Tchadie Fuentes*

Museo Nacional de Ciencia y Tecnología  
Paseo de las Delicias 61, 28045-Madrid. [jerry.tchadie@mcyt.es](mailto:jerry.tchadie@mcyt.es)

*Se analiza el papel que juegan los Museos y Centros de Divulgación Científica en la difusión de la Química, desde el punto de vista de las colecciones, las exposiciones y otras actividades, o recursos didácticos, centrándonos en el Museo Nacional de Ciencia y Tecnología (M.N.C.T.) de Madrid.*

### 1. LA QUÍMICA EN LOS MUSEOS Y CENTROS DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

Encuestas realizadas a ciudadanos de países europeos revelan que las dos terceras partes se sienten escasamente informados sobre Ciencia y Tecnología, a pesar de que casi la mitad admite estar interesado en estos temas.

Las áreas científicas que más interés despiertan son la Medicina y la Ecología, ambas estrechamente relacionadas con la Química a través de la Farmacología, la Bioquímica, la contaminación,...; mientras que, más concretamente, los temas científicos sobre los que las personas encuestadas aseguraron estar mejor informadas son la polución, el “mal de las vacas locas”, el efecto invernadero, el agujero de la capa de ozono y el calentamiento global. Vemos pues, que la Química se encuentra entre los intereses de la sociedad.

La difusión de la Química debe ser considerada, pues, como un imperativo por numerosas y diversas instituciones: instituciones gubernamentales, museos y centros de divulgación científica, centros educativos, empresas e industrias, sociedades científicas, etc.

Los Museos y Centros de Divulgación Científica constituyen dos de los ámbitos más adecuados para la difusión de la Química. Colecciones de instrumentos, montajes interactivos, exposiciones temporales, conferencias, talleres infantiles, etc. son recursos utilizados por estos Centros para mostrar la importancia de la Química en nuestra sociedad.

Sin embargo, la labor de los Museos debe contemplarse con espíritu crítico: menos de la quinta parte de los europeos había visitado un Museo de Ciencia o Tecnología en el último año (siendo la situación en España peor que en el resto de países europeos), mientras que la televisión se ha convertido en el principal medio al que recurren los europeos para obtener información científica.

## **2. MUSEOS DE CIENCIA, CENTROS DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA, MUSEOS DE INDUSTRIA, ARTES Y OFICIOS, Y FARMACIA O MEDICINA**

Se diferencian tres tipos de Museos que son potenciales difusores de la Química: los Museos de Ciencia, los Centros de Divulgación Científica y los Museos de Industria, Medicina o Farmacia y Artes y Oficios. Cada uno de estos Centros cumple una función específica frente a la sociedad, aunque en muchas ocasiones realizan actividades similares.

### **2.1. Las colecciones de los Museos de Ciencia**

La característica que diferencia a los Museos de Ciencia de otros Centros de difusión de la Ciencia es precisamente ser custodios de parte de nuestro patrimonio, en forma de colecciones de objetos, que reconstruyen una parte esencial de nuestra historia. Las colecciones históricas juegan un papel muy importante a la hora de difundir la Ciencia, ya que son reflejo de la evolución del conocimiento científico, así como del impacto del progreso científico y técnico en la sociedad.

Un Museo, no sólo está obligado a mantener sus colecciones en un estado de conservación adecuado y realizar trabajos de investigación sobre sus colecciones, sino que debe difundir sus contenidos y los resultados de sus investigaciones a su entorno social, aplicando siempre los mejores recursos didácticos de que disponga. Visitas guiadas, paneles explicativos de la exposición, catálogos, videos y reportajes televisivos, reproducciones interactivas de piezas, multimedia, la animación infográfica de las piezas o las páginas *web*, son algunas de las herramientas de las que dispone un Museo para difundir su contenido.

Las colecciones históricas de instrumentos de Química suelen ser menos numerosas que las de otras ramas de la Ciencia, como la Física o la Astronomía, lo cual puede deberse a diversas razones como, por ejemplo, el lento desarrollo de instrumentación en Química, hasta el siglo XVIII (1). Es a partir de este siglo, época dorada de la Química, cuando surge una explosión en la producción de instrumentos científicos aplicados a la Química, encaminados a la práctica cuantitativa de esta Ciencia. Antes de este siglo, la mayor parte de instrumentos dedicados a la Química, son en su mayoría útiles de laboratorio y múltiples derivados de instrumentos destiladores.

Otro problema que se encuentran las colecciones de Química es su conservación, ya que un gran porcentaje de las piezas pertenecientes a esta disciplina son de vidrio, lo que dificulta su conservación a lo largo del tiempo. También son objetos que se utilizaban en el trabajo diario de laboratorio, lo que implica que han estado sometidos a un uso frecuente y a agentes químicos que generalmente son nocivos para los materiales constituyentes del instrumento.

A pesar de estas pequeñas dificultades, se conservan colecciones de objetos relacionados con la Química, tanto en Museos, como Facultades o Centros de

investigación, que representan perfectamente esta parte de nuestro patrimonio, entre ellos el Museo Nacional de Ciencia y Tecnología.

## **2.2. Museos de Industria, Medicina o Farmacia, Artes y Oficios y su relación con la Química**

Existe un gran número de Museos en nuestro país dedicados a las prácticas industriales, los oficios artesanales o la Medicina, que suelen encontrarse en fábricas antiguas o Universidades. No hay que olvidar que la mayor parte del desarrollo de la Química se debe a estas actividades, y que sus prácticas habituales encierran un gran conocimiento químico; de hecho, el primer libro impreso que se considera que recoge parte del conocimiento químico (que no alquímico), nacido de la investigación y la observación fue una recopilación de los saberes, “artesanos”, sobre metalurgia, llamado “*De Re Metalica*” (Georgius Agricola, 1556).

De manera que, en estos Museos, es fácil hallar objetos, instrumentos científicos o procesos de fabricación, relacionados con la Química. Si se hiciera una lista encontraríamos los museos de minería, de fabricación de cerámicas o vidrios, museos de farmacia y boticas, de anatomía o forenses, de criminalística, museos de los alimentos, del calzado y el cuero, de enología o de la cerveza, de perfumería, entre otros.

Un ejemplo interesante de esto es el Museo de Farmacia Hispana (2), que dispone de una sala que reproduce un laboratorio yatroquímico, correspondiente al período en el que, a través de la Alquimia, se introdujo el medicamento químico en el arsenal terapéutico. En un ambiente sombrío, con techos abovedados y gran profusión de animales disecados colgados de los techos y paredes, se encuentran todos los útiles del alquimista. Esta representación muestra de manera gráfica los orígenes de la relación entre la Química y la Medicina.

Generalmente estos Centros no aplican una didáctica especial en Química; sin embargo, sí ponen de manifiesto la naturaleza práctica de esta materia y también su historia, por lo que guardan un gran potencial didáctico que podría ser explotado.

Utilizar lo que muestran estos Museos como punto final de un tema que ha sido estudiado en el aula por los alumnos, las visitas guiadas, sus catálogos o páginas web son los elementos didácticos que quizás pueden permitir un mejor aprovechamiento de estos Centros.

## **2.3. Exposiciones en Museos y Centros de Divulgación Científica**

Los Centros de Divulgación Científica (*Science Centers*) son instituciones que actualmente están muy en auge, compuestos por módulos interactivos, excelsos medios y exposiciones temporales con gran atractivo para el público. La mayor parte de los Centros que se dedican a la difusión de la Ciencia en España, entran dentro de esta categoría.

Los interactivos son pieza fundamental dentro de la moderna filosofía de la difusión de la Ciencia en Museos y Centros de divulgación científica (*hands-on activities*). Podemos definir un módulo interactivo como un elemento que se encuentra dentro de una exposición y que explica la ley que rige algún proceso o muestra las propiedades de un sistema determinado, permitiendo al visitante comenzar la demostración a voluntad o cambiar sus condiciones. Sin embargo aunque haya proliferado en gran medida este tipo de medio para la difusión de la Ciencia, no han conseguido desarrollar módulos interactivos que expliquen la Química de manera tan gráfica como se ha conseguido con otras áreas de la Ciencia como la Física o las Ciencias Naturales.

Otro problema es la naturaleza microscópica de los procesos químicos, ya que esta cualidad dificulta relacionar la explicación con la observación, que evidentemente es macroscópica. No hace falta profundizar hasta la mecánica cuántica para explicar fenómenos cotidianos relacionados con la acústica, la óptica, la mecánica,... Pero no se puede explicar el porqué de una reacción ácido-base sin recurrir al microcosmos.

En los últimos años se ha hecho popular incluir la Ciencia de Materiales como una nueva área dentro de las exposiciones. A través de las propiedades de los nuevos materiales se introducen conceptos como su síntesis química, su estructura molecular o cristalina, la relación entre su composición o estructura con sus propiedades especiales, etc. Este interés ha mejorado en mucho la capacidad de llegar al público de las exposiciones de Química, tendiendo un puente a la hora de relacionar el invisible mundo microscópico con el mundo macroscópico en el que se realizan las observaciones.

A principios de los noventa se detectaron estas deficiencias y surgió una iniciativa que pretendía resolver esta situación. Quince Museos de Ciencia y Centros de Divulgación Científica de trece países, entre ellos España, tomaron parte en el proyecto, denominado *Chemistry for Life* ([www.chemforlife.org](http://www.chemforlife.org)). Se debatió cómo debía presentarse la Química en los Museos para que resultase atractiva, clara y objetiva e intentar eliminar la imagen negativa de la Química que mantiene el público. Los Museos participantes aunaron fuerzas bajo el auspicio de la ECSITE (*European Collaborative for Science, Industry and Technology*) y CIASU (*Chemical Industry Association for Scientific Understanding*) y con la colaboración del *European Chemical Industry Council*.

En el proyecto se incluían interactivos, demostraciones, talleres, videos explicativos, programas multimedia, etc. El proyecto puede ser aprovechado por todos los Museos interesados y, al no ser una iniciativa enteramente privada, cualquier Museo puede adquirir cualquier elemento que se incluye en el proyecto, pagando solamente los gastos de material, instalación y adaptación a su espacio.

### 3. COLECCIONES HISTÓRICAS EN EL MUSEO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

El Museo Nacional de Ciencia y Tecnología fue creado en 1980 y es a partir de 1982 cuando llegan las primeras piezas. Cuenta con una colección de más de 12.500 piezas, constituida por instrumentos científicos y objetos relacionados con la tecnología, que provienen tanto de centros de enseñanza, como de antiguas fábricas o instituciones científicas. El primer lote de piezas que llega al Museo se compone de más de 2000 objetos provenientes del Instituto de Enseñanza Secundaria San Isidro, de Madrid. Este Instituto, que fue referencia de la Enseñanza Media de Madrid durante el siglo XIX, heredó una rica colección de instrumentos de la Real Academia de Matemáticas (1582), creada por Felipe II, el Colegio Imperial (1609), fundado por Felipe IV y los Reales Estudios de San Isidro (1770). Esta colección que ahora se encuentra en los fondos del museo está compuesta por objetos de Astronomía, Física, Química, Topografía, etc..



Figura 1. *Balanza de precisión (1850-1880).*

En 1995 se incorporan aproximadamente 850 piezas a la colección del Museo, como depósito temporal, provenientes de la Facultad de Físicas de la Universidad de Madrid.

Además de estas aportaciones, el Museo cuenta con una importante colección repartida de grupos de piezas, que provienen de distintas fuentes y que responden a

distintas áreas temáticas: telefonía, telegrafía, radio, televisión, imprenta, industria, cinematografía, sonido, agricultura, automoción, tecnología del hogar, etc..

La colección de instrumentos de Química está compuesta por más de 300 objetos que provienen en su mayoría del Instituto San Isidro y de la azucarera Antequerana S.L.. Es una colección bastante modesta; sin embargo, se puede encontrar en ella instrumentos que acontecieron cambios importantes en la historia de la Química a finales del siglo XIX y principios del siglo XX, como varios modelos de espectroscopios, colorímetros y sacarímetros. Inventados durante el siglo XIX, revolucionaron las técnicas de análisis en Química. La presencia de balanzas analíticas en la colección es notable y altamente representativa, ya que, el establecimiento de las leyes químicas mediante métodos cuantitativos, a finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX, convirtió a la balanza en herramienta indispensable del químico y protagonista del nacimiento de la Química actual.



Figura 2. *Espectroscopio (1870-1900).*

Entre todos estos complejos instrumentos (ver a modo de ejemplo las Figuras 1 y 2) se encuentra una representación de instrumental de vidrio utilizado para diversas operaciones químicas, morteros, hornillos refractarios y otros muchos instrumentos utilizados en Química, como colorímetros, ebulómetros, eudiómetros, densímetros, entre otros.

## **5. INSTRUMENTOS DE QUÍMICA EN LA EXPOSICIÓN DEL MUSEO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

Dentro de la propia exposición del Museo, ubicada en la sala de Ciencias experimentales, la Química comparte vitrina con la Biología y la Geología (3). En ella se encuentra una pequeña selección de objetos e instrumentos relacionados con la

historia de la Química, como un alambique, una nitradora, o un rotor de ultracentrífuga. En la Figura 3 se observa la distribución de toda las áreas temáticas de la exposición. Claramente, la Química no es una de las que mejor representadas se encuentra, mientras que otras, como la Astronomía y la Física, son disciplinas ampliamente representadas.

Hay que entender que los núcleos principales de la colección del Museo están compuestos por instrumentos de Física que provienen de importantes instituciones, y que entre los instrumentos más antiguos, que representan una etapa temprana en la Ciencia de España, se encuentran los instrumentos de Astronomía, formando lo que se puede considerar como las “joyas del museo”.

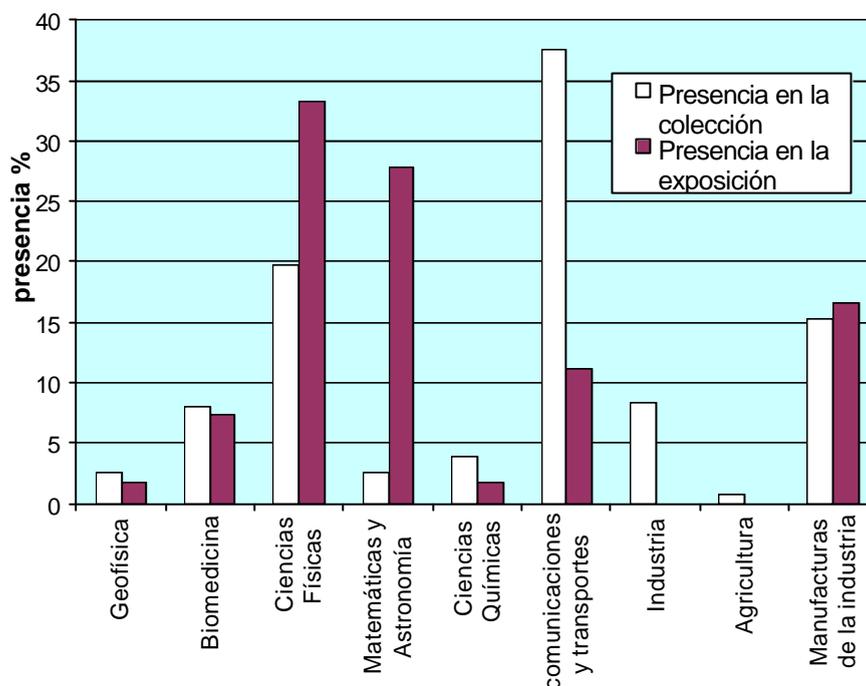


Figura 3. Distribución de la colección y de la exposición en el Museo Nacional de Ciencia y Tecnología.

El espacio expositivo del que dispone el Museo está muy limitado. Se reduce a 1000 m<sup>2</sup> aproximadamente, de modo que esto impide exponer muchos objetos que serían de gran interés, como las máquinas de gran tamaño de la sección de industria de la colección.

## 5. ACTIVIDADES DE DIFUSIÓN DE LA QUÍMICA EN EL MUSEO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Entre las diversas actividades que lleva a cabo el M.N.C.T. para divulgar la Química, una de las más exitosas han sido los “Maratones Científicos”. Éstos consisten en una serie de breves conferencias (no más de media hora) que transcurren a lo largo de una tarde entera. Están dirigidas a un público no especializado y se incentiva la participación de la audiencia mediante preguntas y comentarios.

Este curso 2002-2003 se han programado dos Maratones relacionados con la química (de un total de ocho): uno sobre el Cambio Climático coordinado por el Prof. Alario Franco, Catedrático de la Universidad Complutense de Madrid, y que gozó de una gran audiencia, y otro sobre Nuevos Materiales, coordinado por los investigadores Caballero Cuesta y Martínez Cáceres, del Instituto de Cerámica y Vidrio (C.S.I.C.). El M.N.C.T. considera que la difusión y la comunicación es una de las principales responsabilidades de los científicos y por lo tanto se presta como foro donde tenga lugar un contacto directo entre éstos y la sociedad.

Otras actividades, éstas dirigidas a niños entre 8 y 14 años, son charlas informales impartidas por científicos y talleres desarrollados por monitores del Museo. Encuestas realizadas a los niños que han asistido a nuestras actividades revelan que sus intereses se centran fundamentalmente en las Ciencias Naturales (animales, plantas y minerales), quizás porque el currículo de educación primaria se centra en estos aspectos. Sin embargo, también mostraron preferencia por la Química, disciplina que se puede integrar fácilmente en sus conocimientos a través de temas tales como la nutrición, el agua, el entorno natural,... Esto nos lleva a pensar que la Química puede empezar a ser divulgada a temprana edad, y que quizás esto ayude a que la sociedad juzgue el papel que desempeña en nuestra vida de manera menos negativa.

Durante los cursos 2001-2002 y 2002-2003 se han realizado tres talleres de Química: “La cocina huele a azufre”, “Materiales mágicos” y “Química electrizante”.

En “La cocina huele a azufre” se enseñaba a los participantes a reconocer, a través de los sentidos, diversas sustancias químicas de uso doméstico: lejía, amoníaco, huevo podrido, vinagre,... explicándoles sus usos o peligros, siendo entonces una actividad no sólo instructiva sino también muy educativa. Una imagen de esta actividad se muestra en la Figura 4.

En el taller “Materiales mágicos” los participantes experimentaban las misteriosas propiedades de la papilla de maíz, un fluido magnético (una suspensión de limaduras de hierro en aceite) o fabricaban una pelotita con un polímero. Éste ha sido el taller más solicitado los dos años que se ha programado, entre otros talleres de Astronomía, Meteorología u Óptica.

En el taller “Química electrizante”, los niños fabricaban una batería de plomo y realizaban una electrodeposición de zinc sobre una moneda de un céntimo de euro.



Figura 4. *Desarrollo de un taller de Química en el Museo.*

La colaboración con Institutos y Colegios se plasma en el ciclo “Chicos y grandes en el Museo”, por el que el Museo cede a los Centros que colaboran en la Feria Madrid por la Ciencia un espacio para que muestren sus proyectos científicos. La política del M.N.C.T. de hacer del visitante un protagonista de las actividades educativas, no tan sólo un receptor, llega incluso a que los jóvenes que participan en este ciclo realicen también visitas guiadas al público. Esto permite que conozcan mejor la labor de los Museos.

Finalmente, otro proyecto que se desarrolla actualmente en el Museo es “Movimientos”, con animaciones informáticas de las piezas en exposición instaladas en monitores con pantalla táctil. Esto permite una mayor comprensión del funcionamiento de las mismas, uno de los grandes problemas con que se encuentra el visitante ante una pieza colocada en una vitrina.

## **6. CONCLUSIONES**

La acogida de las actividades del M.N.C.T., así como las apreciaciones de las personas que han participado junto con el Museo en la organización de las mismas, nos indican que es necesario una mayor coordinación y colaboración entre todas las instituciones responsables de la difusión de la Química: Museos y Centros de Divulgación Científica, Universidades, Institutos y Colegios, Sociedades, Empresas,

etc. Aunque se han llevado a cabo algunas iniciativas en este sentido, todavía estamos lejos de la situación de otros países, en los que las empresas químicas participan activamente y colaboran con Museos en la educación científica de la ciudadanía, por ejemplo.

La historia de la Química es un recurso imprescindible a la hora de dar una visión integral de la disciplina. Colecciones de instrumentos, fábricas e industrias con valor histórico, etc., deben ser potenciadas y dadas a conocer entre los profesores y el público en general. Además, una de las grandes dificultades con que se encuentran los Museos de Ciencias con colecciones de instrumentos es el poco valor que se suele dar a su conservación por parte de las instituciones científicas que los poseen. Por esto, debería concienciarse a los centros de investigación, laboratorios, universidades y empresas, del importante papel que pueden jugar a la hora de conservar el patrimonio científico.

## **REFERENCIAS**

1. G. Einaudi (Ed.), *Storia delle scienze, GLI strumenti*, Torino (1999).
2. Consejo Social de la Universidad Complutense de Madrid, *El Museo de la Farmacia Hispana*, Madrid (1993).
3. Ministerio de Educación y Cultura, *Abriendo las puertas a la Ciencia; guía didáctica*, Madrid (1997).

## ÍNDICE DE AUTORES

- Abraham, J.M., 83  
Adrià Casas, M.A., 393  
Aguado, R., 163  
de las Alas Pumariño, E., 73  
Almazán Hernández, E.J., 371  
Alonso Rodríguez, E., 143  
Arnáiz, F.J., 163  
Arnáiz, S., 163  
Avilés Ávila, O., 177
- Barbadillo, F., 135  
Barea, J.A., 169  
Barracó Serra, M., 393  
Barroso Flores, J., 155  
Blanco, A., 169  
Borsese, A., 25  
Buendía Villar, I., 187
- Caamaño, A., 33  
Caballero Arroyo, Y., 187  
Cabildo Miranda, M.P., 293  
Calvo Hernando, M., 417  
Cambra, A., 203  
Canselier, J.P., 259  
Carrillo, I., 203  
Casalderrey, M.L., 349  
Castro Acuña, C.M., 67, 83  
Castro Romero, J.M., 143  
Córdova, J.L., 89  
Cornejo Rojas, R.L., 187  
Corominas, J., 33  
Cruz Martínez, R., 371
- Díaz Sánchez, F., 371  
Domínguez Danache, R.E., 67  
Domínguez Pérez, A.E., 149  
Dosal, M.A., 89  
Escolástico León, C., 293  
Esteban, S., 25
- Feregrino, V.M., 89  
Fernández Martínez, F., 203  
Fernández Solís, J.M., 143  
Fernández Tena, A., 219, 409  
Filardo Kerstupp, S., 371
- García Diez, A.I., 135  
García Manrique, C., 155, 321  
García Pérez, M.V., 267  
García Soto, L., 135  
Garrido, L.F., 169  
Gómez Pedroso, A., 383  
González del Barrio, P., 107  
González Delgado, M.N., 357  
González Izquierdo, E., 107  
González Rodríguez, V., 143  
González Soto, E., 143  
González Tejera, M.J., 313  
Guijarro, F.J., 169  
Guijarro, M.C., 169
- Hernández Antolín, M.T., 203  
Hernández Arganis, M., 155
- Izquierdo, M.C., 249
- Jaume, M., 325  
Jiménez Liso, M.R., 15
- Kelter, P.B., 83
- Losada, R.M., 135  
Lozano, M., 163
- Llano Lomas, M., 177, 363  
Llavería, A., 33  
Llopis Castelló, R., 331  
Llorca, J., 241  
Llorens Molina, J.A., 331

Mammino, L., 375  
Manuel Torres, E., 15  
Martín Sánchez, M., 115, 117  
Martín Sánchez, M.T., 115, 117  
Martínez Casado, F.J., 267  
Martínez Mena, P., 421  
Martínez Urreaga, J., 191, 197, 211  
Mejueiro Morosini, M., 303, 309  
Melià, R.M., 33  
Melcón de Giles, M.J., 401  
Mier, J.L., 135  
Mijangos Ugarte, F., 43  
Molina García, A.D., 339  
Montes de Juan, F., 383  
Müller Carrera, G., 177, 363  
  
Narros Sierra, A., 197  
  
Orozco Barrenetxea, C., 357  
Ortiz, L.R., 89  
  
Paixão, M.F., 95  
Pedrosa, M.R., 163  
Peral, F., 251  
Pérez Iglesias, J., 143  
Pérez Serrano, A., 357  
Perronnet, C., 203  
Piano, J.A., 169  
Pinto Cañón, G., 9, 49, 127  
de la Plaza, M.A., 249  
Pozas, R., 169  
Pozas Requejo, F., 197  
Prieto García, M.M., 219, 409  
Puigvert, M.T., 33  
  
Ramos Riesco, M., 267  
Redondo Yélamos, M.I., 267  
Reza, J.C., 89  
Rivero Núñez, M.C., 401  
Rodríguez Cheda, J.A., 267  
Rodríguez Pérez, M., 149, 303, 309  
Rohrig, B., 127  
Ros Clavell, I., 233  
Ruiz de Larramendi, J.I., 275, 283  
  
Salazar Vela, G., 155, 321  
Sánchez Guadix, M.A., 15  
Santos López, E.M., 371  
Seco Lago, H., 141  
Solsona Pairó, N., 57  
Surià Lladó, P., 393  
  
Tchadie Fuentes, J., 421  
Torres Cámara, R., 393  
Trejo, L.M., 25  
Troitiño, M.D., 249  
Tudela, D., 225  
  
Unda Carbott , T., 259, 363  
Universidad de Alcalá, 81  
Uraga, C., 169  
  
de Vicente Pérez, S., 383  
  
Zabala López de Maturana, G., 43  
Zalts, A., 9  
Zúñiga Estrada, A., 371