

Educación en la Química

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

ISSN 2344-9683

Volumen 20
Número 2
2014

Educación en la Química

ISSN en línea 2344-9683

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

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

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

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

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

Comité editor

Editor Responsable

Luz Lastres Flores

(ex-Universidad de B. Aires)

Co-editora

M. Gabriela Lorenzo

(Universidad de B. Aires-Conicet)

Colaboradoras

Andrea S. Farré

(CIAEC-Universidad de B. Aires)

Marisa Repetto

(Universidad de B. Aires)

Consejo Asesor

Daniel Bartet (UMCE, Chile)

Erwin Baumgartner (Universidad de Buenos Aires)

Faustino Beltrán (Academia Argentina de Artes y Ciencias de la Comunicación)

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

Raúl Chernikoff (Universidad N. de Cuyo)

Norma D'Accorso (Universidad de Buenos Aires)

Lilia Davel (Universidad de Buenos Aires)

Bruno Ferreira Dos Santos (Universidad Estadual do Sudoeste da Bahía, Brasil)

Lydia Galagovsky (Universidad de Buenos Aires)

Andoni Garritz (UNAM, México)

Martín G. Labarca (CONICET)

Hernán Miguel (Universidad de Buenos Aires)

Norma Nudelman (Universidad de Buenos Aires)

Héctor Odetti (Universidad N. del Litoral)

Laura Vidarte (ex ISP J. V. González, B.A.)

EdenlaQuim-ADEQRA. Centro de Investigación y Apoyo a la Educación Científica. CIAEC.
Facultad de Farmacia y Bioquímica. UBA.

Junín 956 (1113). Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

e-mail: ciaec@ffyb.uba.ar



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

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

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

Comisión Directiva.

Presidenta: Estela Zamudio (Filial Buenos Aires)
Vicepresidenta: Liliana Habarta (Filial Chaco)
Secretario: Dante O. Tegli (Filial Buenos Aires)
Prosecretario: Sandra Hernandez (Filial Buenos Aires)
Tesorero: Carlos Suarez (Filial Buenos Aires)
Protesorero: Verónica Catebiel (Filial Bariloche)
1º Vocal titular: Andrés Raviolo (Filial Bariloche)
2º Vocal titular: Raúl Chernicoff (Filial San Rafael)
1º Vocal suplente: Javier Genovese (Filial Buenos Aires)
2º Vocal suplente: Leonor Lopez Tevez (Filial Buenos Aires)

Comisión revisora de cuentas

1º Titular: Mariela Judith Llanes (Filial Chaco)
2º Titular: Sebastián Monaco (Filial Buenos Aires)
3º Titular: Stella Fórmica (Filial Córdoba)
1º Suplente: Violeta Torres (Filial Salta)
2º Suplente: Mario Molina (Filial Chaco)

Domicilio legal de ADEQRA

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

Editorial

EL ROL DE LAS REVISTAS CIENTÍFICAS EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS: REVISTA EDENLAQ EN EL MUNDO

M. Gabriela Lorenzo

EDENLAQ, Consejo Editor, Buenos Aires, Argentina.

E-mail: ciaec@ffyb.uba.ar

Resumen. En el marco del Segundo Congreso Internacional de Educación en Ciencias, realizado en Brasil durante 2014, se celebró el Simposio "Revistas para mejorar la educación científica", con la participación de siete reconocidas revistas de la región iberoamericana, en el cual nuestra revista EDENLAQ estuvo presente. Aquí presentamos brevemente cada una de las revistas y comentamos sobre nuestra presentación en tan importante reunión.

Palabras clave: Enseñanza de la Química, redacción de artículos, actualización de profesores

Scientific Journal's role for science teaching: EDENLAQ Journal in the world

Abstract. In the context of the 2nd International Congress of Science Education that took place in Brazil on 2014, the Symposia Journals for Improving Science Education was attained. Our journal EDENLAQ was there together with other important journals of Ibero-America. A brief presentation about each journal and some particular words about our own presentation in that significant meeting are commented here.

Key words: Chemistry Education, scientific writing, teacher's training

Repensando límites y alcances de la didáctica de las ciencias

El pasado agosto, se celebró en la vecina ciudad de Foz do Iguaçu, Brasil, el 2nd INTERNATIONAL CONGRESS OF SCIENCE EDUCATION - 15 YEARS OF THE JOURNAL OF SCIENCE EDUCATION.

El evento se concretó en la Universidade Federal da Integração Latino-Americana – UNILA (www.unila.edu.br), una universidad de reciente creación (2007) ubicada en el Parque Tecnológico de la Represa de ITAI-PU organizado por la revista Journal of Science Education.

En ese marco, el Dr. Andoni Garritz nos propuso participar de un Simposio *Journals for Improving Science Education* junto con otras reconocidas revistas iberoamericanas dedicadas a la educación en química o en ciencias:

Por Brasil, participaron tres revistas, la Revista Ciência & Educação, Re-

vista Brasileira de Pesquisa in Science Education y la Revista Química Nova na Escola. De manera compartida entre Brasil y Colombia, la Revista de Educación en Ciencias. Por España la Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, por México, Educación Química y EDENLAQ por Argentina.

Una síntesis de lo que presentó cada revista puede consultarse en los Proceedings del congreso (Goodwin, Hollenbeck, Hargis, Henz Franco, Fejes, Cachapuz, Cardoso, Hernández, Stüker Kropf, Araujo y Orlik, 2014) que pueden encontrarse en www.accefyn.org.co/rec publicado como número especial de la revista organizadora.

Nos referiremos a continuación brevemente, a algunas de las características más salientes de las revistas participantes del simposio y luego, resumiremos los aspectos presentados por nuestra revista EDENLAQ. Finalmente intentaremos hacer una reflexión sobre nuestra inserción internacional en el mundo de las publicaciones en didáctica de las ciencias.

Simposio "Journals for Improving Science Education"

La inquietud de los investigadores iberoamericanos en didáctica de las ciencias y de la química se pudo corporizar a partir de la década de los noventa. Mucho más jóvenes que sus pares de habla inglesa, las revistas en español han ido creciendo y consolidándose en el mundo internacional de las revistas científicas hasta ser incluidas en los más prestigiosos sistemas de reconocimiento (indexación).

Afortunadamente, los profesores de química y de otras ciencias y los investigadores en didáctica de las ciencias, tenemos hoy la posibilidad de informarnos, actualizarnos, comunicarnos con nuestros colegas y dar a conocer nuestros trabajos de investigación a través de un gran número de revistas, que como las que participaron del simposio pertenecen al ámbito iberoamericano.

Si bien el idioma suele ser una dificultad, no es el único de los problemas. Más bien, los artículos que relatan experiencias de otras tierras traen aparejadas diferencias entre las culturas, hábitos, organización del sistema educativo, recursos, que muchas veces dificultan encontrar una correlación o poder replicarla en el seno de nuestra cultura iberoamericana y requieren un trabajo serio y riguroso de adaptación al contexto para poder ser transferida. De allí la importancia de contar con revistas de prestigio en nuestra región.

Las siete revistas participantes del simposio, se rigen por el sistema de evaluación por pares, se publican primordialmente en el idioma del país de pertenencia, castellano y portugués en el caso de Brasil, pero en general aceptan artículos en otras lenguas. Varían en cuanto a su frecuencia de publicación y se encuentran indexadas, aunque con diferente

grado de visibilidad. Las revistas más antiguas se iniciaron con versiones impresas utilizando el soporte papel. Hoy en día, han ido cambiando para o bien combinar diversos soportes o convertirse enteramente en revistas en línea. La mayoría de ellas ofrecen acceso abierto al público aunque la disponibilidad de artículos depende del año de su publicación. En el cuadro 1 intentamos resumir sus características técnicas principales.

Revista	Editor/País	Frecuencia/Indexación
Revista Ciência & Educação	Universidade Estadual Paulista Brasil	Trimestral/ Latindex - Hemeroteca Latinoamericana (Unam); CLASE - Citas Latinoamericanas em Ciencias Sociales y Humanidades; Portal CAPES; CCN - Catálogo Coletivo Nacional (CCN/IBICT); Unibibli Web.
Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências	Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências Brasil	Cuatrimestral
Revista Química Nova na Escola	Brasil	Chemical Abstracts, Latindex, EDUBASE, Portal de Periódicos da CAPES, CCN/IBICT, Google Acadêmico, Unibibliweb e DOAJ: Directory of Open Access Journals.
Journal of Science Education/Revista de Educación en Ciencias	Colombia-Brasil	Scopus (Elsevier) www.info.scopus.com ; Qualis (qualis.capes.gov.br/webqualis) Chemical Abstracts Educational Resources Information Center (ERIC); Educational Research Abstract Online (ERA) UK; www.tandf.co.uk/era , Latindex, México.
Eureka	Universidad de Vigo España	Trimestral/monográfico bianual ANEP CNEAI Latindex INRECS
Educación Química	Universidad Nacional Autónoma de México, México	Trimestral
Educación en la Química	ADEQRA/ Argentina	Semestral Latindex

Cuadro 1. Resumen de las principales características de las Revistas presentadas en el Simposio UNILA (2014)

1) Revista Ciência & Educação

Roberto Nardi de la Facultad de Ciencias de la Universidad Estadual Paulista de Brasil, realizó la presentación de la revista bajo el título *The contribution of the journal Ciência & Educação for the consolidation of a graduate program and the research in science education in Brazil*.

La Revista Ciencia & Educación se publica desde 1995 como parte del Programa de Postgraduación en Educación para la Ciencia de la Facultad de Ciencias de la Universidad Estadual Paulista de Brasil. En su cuerpo editorial participan investigadores nacionales e internacionales. La revista presenta un importante crecimiento en el número de publicaciones en los últimos años, aceptando artículos en portugués y otros idiomas.

2) Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (revistas.if.usp.br/rbpec).

Alberto Villani y Cristiano Rodrigues Mattos del Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP), Brasil, presentaron el trabajo bajo el título *The Role of Revista Brasileira de Pesquisa in Science Education*.

Se trata de la revista oficial de la Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (ABRAPEC) que tiene como finalidad promover, divulgar y socializar la investigación en Educación Científica a través de diferentes actividades. Entre las temáticas que se publican en la revista se encuentran los procesos de enseñanza y aprendizaje, la formación de profesores, las innovaciones curriculares, lenguaje y cultura, historia y filosofía de la ciencia, nuevas tecnologías, educación para la salud y educación ambiental. Actualmente la revista atraviesa un período de transición en busca de mayor visibilidad a través de la indexación e internacionalización, considerando las publicaciones en diferentes idiomas.

3) Química Nova na Escola Journal (<http://www.s bq.org.br/>)

El nombre de la revista fue el título del trabajo presentado por Wildson Luiz Pereira dos Santos, Paulo Alves Porto, Salette Linhares Queiroz de los Institutos de Química de la Universidade de Brasília y de Universidade de São Paulo de Brasil.

La revista Química Nova na Escola fue publicada por primera vez en 1995, con una periodicidad inicial semestral y a partir de 2008, trimestral. Su característica primordial es estar enfocada a los maestros y profesores de educación básica (nivel primario). La revista dispone de un cuerpo de asesores de química y de educación que les permite atender la demanda de la formación inicial y continua de los profesores. De este modo la revista es considerada como la principal referencia nacional en el área de la enseñanza de la química. Dispone además de materiales adicionales como DVD "Programas de TV Química Nova na Escola", o CDROM "Cinco Anos de Química Nova na Escola", o CDROM "Dez Anos

de Química Nova na Escola”, Cadernos Temáticos Química Nova na Escola, um CDROM com os cinco primeiros números dos Cadernos Temáticos Química Nova na Escola e dois volumes do livro “Química: ensino médio”

A partir de 2014, la revista publicará dos números regulares dedicados enteramente a la investigación en educación química

4) Journal of Science Education (joapd1@gmail.com)

Yuri Orlik y Luz Hernández presentaron el trabajo bajo el título *15th anniversary of the Journal of Science Education*.

La revista Educación en Ciencias o Journal of Science Education publicó su primer número en el año 2000 con sede en Colombia. Lleva publicados 530 artículos en 36 volúmenes con la participación de autores de 62 países. Posee un comité de integrado por expertos de 23 países. Actualmente, la revista es financiada principalmente por la Academia Colombiana de Ciencias, las universidades colombianas Antonio Nariño y Autónoma de Colombia y la UNILA, de Brasil.

5) Revista Eureka (<http://reuredc.uca.es>)

José María Oliva de la Universidad de Cádiz presentó a la revista española bajo el título *Eureka Journal on Teaching and Popularization of Science*

La revista se publica desde 2004, siempre en formato digital de manera cuatrimestral, más un número monográfico extraordinario cada dos años. Lleva publicados alrededor de 500 artículos, con autores de países de Latinoamérica: España, México, Argentina, Colombia, Brasil, Portugal, Venezuela, Chile, Cuba, Ecuador, Costa Rica.

La revista intenta contribuir al desarrollo del conocimiento en didáctica de las ciencias experimentales en todos los niveles del sistema educativo y también aportar referentes para la educación científica en el ámbito de la educación no formal. Las temáticas abordadas refieren al uso de estrategias de enseñanza y recursos didácticos, la formación del profesorado, la historia de la ciencia o la educación para la sostenibilidad.

REurEDC aparece indexada en el segundo cuartil del listado de INRECS (Educación) de 2012. Hay que destacar especialmente su inclusión en el Top- 100 de revistas en español del Google “<http://scholar.google.es/citations> con un índice de impacto h5- index=11, ocupando uno de los primeros lugares de revistas de Educación en español (primer cuartil).

6) Educación Química (<http://educacionquimica.info/>)

Bajo el título “Educación Química” a Journal for the Ibero-American environment, su editor Andoni Garritz presentó la revista y organizó el Simposio.

La revista *Educación Química* se publica hace 25 años con sede en la

Universidad Nacional Autónoma. Acepta artículos escritos en español, inglés, portugués y francés. La temática principal es la educación de la química que incluye vinculaciones con otras ciencias como la física, la biología y las ciencias de la Tierra, y también la filosofía, la historia, la sociología y la divulgación de la química.

La revista ha ido acrecentando su carácter internacional. Actualmente, la mayoría de los autores (54%) no son mexicanos y pertenecen a España, Argentina, Estados Unidos, Israel, Brasil, Chile, Cuba, Venezuela, Inglaterra, Canadá y Colombia.

A partir de diciembre de 2012, la revista se convirtió en una de acceso abierto.

La revista cuenta con un Comité Editorial Nacional, con participantes de múltiples organizaciones y universidades; y con otro Internacional, con participantes de once países (Argentina, Brasil, Canadá, Chile, Colombia, Cuba, España, Estados Unidos, Panamá, Puerto Rico y Venezuela).

7) Educación en la Química: A journal for those who teach Chemistry (www.adeqra.com.ar)

La revista EDENLAQ fue presentada por las editoras Luz Lastres y Gabriela Lorenzo en un trabajo titulado *Educación en la Química: A journal for those who teach Chemistry*.

La revista, ideada por el profesor Ricardo Pasquali, como una actividad propia de ADEQRA (Asociación de Docentes en la Enseñanza de la Química de la República Argentina), busca articular los conocimientos y experiencias entre los docentes, los investigadores de las ciencias químicas y los didactas de la química.

La revista se organiza en diferentes secciones que configuran aportes valiosos para el enriquecimiento de los docentes, ofrece resultados de investigación, actividades innovadoras para el aula, revisiones históricas y epistemológicas sobre la química y su enseñanza, informa sobre novedades y anuncios de interés para los profesores, próximos congresos y reuniones científicas. Desde su comité editorial alentamos a los profesores a la escritura de sus experiencias, una práctica para nada generalizada, bajo un modelo de recursividad de la escritura que les permita lograr su publicación.

Así, la revista EDENLAQ contribuye al desarrollo del conocimiento didáctico de la química de los profesores (Bucat, 2004) ayudándolos en su valiosa tarea de enseñar química.

Dada la amplitud de ofertas formativas, en el nivel secundario, no todos los alumnos están motivados para aprender química por considerarla ajena a sus necesidades. En el nivel superior, sobre todo en los primeros años, también aparecen dificultades a pesar del interés, debido a la falta

de conocimientos previos o a que la oferta de actividades de enseñanza no logra conectar con la cultura de aprendizaje de los jóvenes. A esto se agrega, el escenario complejo del trabajo de los profesores atravesado por el aislamiento docente que dificulta la comunicación entre pares y las posibilidades de innovación; la sobrecarga de contenidos, cargas horarias, gestión de grupos heterogéneos, brecha generacional, manejo de recursos tecnológicos, las actividades de investigación, entre otros; y también, la competitividad entre los propios colegas para conservar el puesto de trabajo. Por lo tanto, la enseñanza y el aprendizaje de la química plantean altas exigencias al colectivo docente en lo que respecta a su responsabilidad en la planificación de las clases y en el diseño de nuevas estrategias. Para ello, los docentes deben ser capaces de transformar los problemas cotidianos en situaciones de aprendizaje (de Jong, 2011), coordinando de manera significativa todos los aspectos involucrados y ayudando a sus alumnos de acuerdo con su nivel de desarrollo a descubrir la estructura interna que conecta los fenómenos observables del mundo. Es en este punto donde la revista EDENLAQ se constituye en un puente, un valioso recurso para acompañar a los profesores en sus multifacéticas tareas de enseñanza.

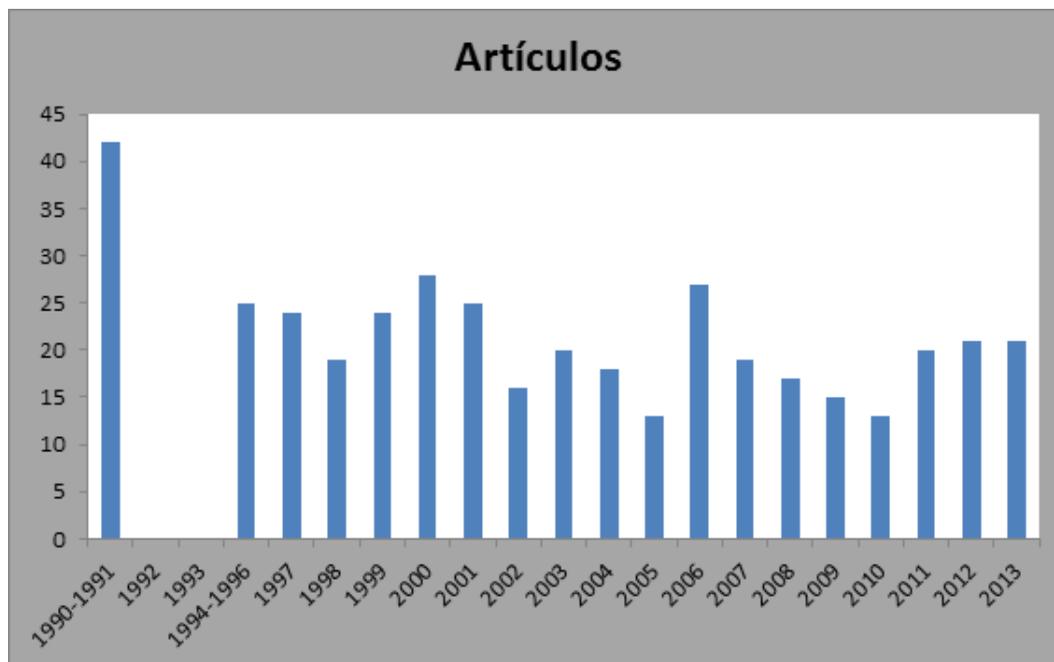
Con el primer número del volumen 19 de 2013, hemos celebrado los cincuenta números de la Revista, donde le dedicamos una editorial (pp. 2-3)

En el cuadro 2 mostramos las distintas épocas por las que fue atravesando la revista. Se distingue un período inicial con un alto número de artículos publicados durante el primer año (cuadro 3), pero luego atravesó un período de aparente inactividad.

Época	Período	Características de la Edición	Editores
1º	1990-1996	Irregular. 4 y 3 números por volumen Organización interna incipiente	Ricardo Pasquali
2º	1997-1999	3 números por año Secciones	Mónica Steinman Luz Lastres
3º	2000-2006*	3 números por año (cuatrimestral) Tapa a color * Se formaliza el Consejo Asesor * Se recibe subsidio del MCyE	Mónica Steinman Luz Lastres
4º	2007-actualidad	2 números por año (semestral) 2010: Finaliza subsidio SOPORTE ONLINE Color Página Web	2008: L. Lastres, G. Lorenzo, Liliana Knabe 2009: L. Lastres, G. Lorenzo, L. Knabe A partir de 2010: Editoras: L. Lastres, G. Lorenzo. Colaboradoras: A. Farré, M. Repetto

Cuadro 2. Etapas de la Revista EDENLAQ

A partir de 1997 la revista fue adquiriendo cada vez mayor trascendencia, manteniendo la periodicidad de la publicación. Entre el 2006 al 2010, la revista recibió un subsidio del Ministerio de Educación que permitió sostener la versión impresa y la distribución de los ejemplares entre los socios a través del correo postal. El fin del subsidio y los altos costos de la publicación, llevó a optar por la versión en línea, que se sostiene en la página de la asociación (www.adegra.com.ar).



Cuadro 3. Cantidad de artículos publicados por año

Algunas reflexiones particulares sobre EDENLAQ

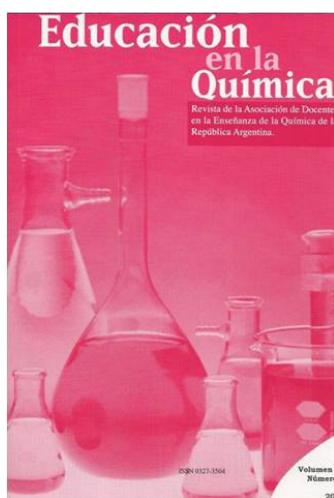
Una característica que distingue a los colaboradores de la revista, ya sea como editores, árbitros o autores, es que desde su inicio, además de la fuerte presencia de egresados de profesados, con formación didáctica, una sensible mayoría ha tenido una formación inicial en química (digamos desde una mirada tradicional de entender la química por químicos, bioquímicos, ingenieros químicos, licenciados en química...). Esta formación inicial fue enriquecida en una segunda etapa de manera formal o informal, en los aspectos más sociales y pedagógicos de la disciplina, para convertirse en educadores en química o más específicamente como didactas de la química.

En cuanto al perfil de los autores en su mayoría se desempeñan como docentes en el nivel universitario y en el de formación de profesores, aunque también los hay de nivel secundario y en menor medida de nivel

primario. En cuanto a sus nacionalidades, la mayoría son de Argentina pero también de México, Estados Unidos, España, Colombia, Chile e Inglaterra.

EDENLAQ cuenta con un Consejo Asesor está conformado por catorce reconocidos especialistas, once argentinos, y tres de Chile, México y Brasil. En estos momentos nos encontramos en un período de transición en donde iniciamos un proceso de ampliación en cuanto al número total de miembros del Consejo y simultáneamente de internacionalización con mayor representación de referentes extranjeros.

En el cuadro 4, mostramos una tapa de la versión impresa y algunos números representativos de nuestra labor.



EdenlaQ en cifras 1990-2013

- 23 años
- 407 artículos publicados
- 28 artículos rechazados
- 2968 páginas
- 19 Volúmenes
- 51 números
- 624 autores

Cuadro 4. Tapa y algunos números de EDENLAQ

La revista EDENLAQ acompaña desde siempre las Reuniones de Educadores en la Química (REQ), y ha servido para dar a conocer los mejores trabajos presentados en ellas. Además, estas reuniones han generado un espacio de encuentro entre aquellos interesados en la enseñanza de la química, ofreciendo diversas actividades para la actualización y formación docente, reflexiones compartidas, discusiones, oportunidades. Algunos recuerdos se muestran en el collage de fotografías del cuadro 5



Cuadro 5. Algunos recuerdos

Para finalizar, los que hacemos la revista EDENLAQ sabemos que enseñar química en el aula a un grupo concreto de estudiantes no es tarea sencilla. Esperamos que nuestra Revista sea un recurso valioso para todos aquellos que creen que enseñar y aprender química nos ayuda a construir una sociedad más crítica e inclusiva.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bucat, R. Pedagogical content knowledge as a way forward: Applied research in chemistry education. *Chemistry Education: Research and Practice*, v. 5, n. 2, 215-228, 2004.
- de Jong, O. Teaching for problem-based learning: The case of open practical work. *Educación en la Química*, v. 17, n. 1, 3-14, 2011.
- Goodwin, A., Hollenbeck, C., Hargis, J., Henz Franco, E., Fejes, M., Cachapuz, A. Cardoso, A., Hernández, L., Stüker Kropf, M., Araujo, J. y Orlik, Y. (2014). Proceedings of the 2d INTERNATIONAL CONGRESS OF SCIENCE EDUCATION, 15 YEARS OF THE JOURNAL OF SCIENCE EDUCATION, *Journal of Science Education*, Vol. 15, Special Issue, 55-56.

Nueva Sección

CONOCIENDO A LA COMUNIDAD DE INVESTIGADORES EN DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS

Entrevista al Dr. Bruno Ferreira Dos Santos



La investigación en el área de la Didáctica de las Ciencias (Naturales) es un campo de reciente consolidación en el mundo científico. Discurre entre dos orillas más o menos distantes entre sí, la formación disciplinar de origen (principalmente física, química y biología) y las ciencias sociales vinculadas a la educación. Con su torrente a veces turbulento, a veces sinuoso, encuentra remansos e islas a su paso, donde crece y prospera.

Dada la reconocida trayectoria en el campo de la didáctica de las ciencias del Dr. Bruno Ferreira Dos Santos, lo invitamos a responder esta breve entrevista para que todos los lectores de nuestra revista Educación en la Química lo conozcan un poco más.

Esto fue lo que nos respondió.

Presentación formal

Licenciado y Magister en Química por la Universidad Federal de Bahía, Brasil, y Doctor en Ciencias Sociales y Humanas por la Universidad Nacional de Quilmes.

Soy actualmente Profesor Adjunto en la Universidad Estadual do Sudoeste da Bahia, Brasil, donde fui coordinador de la carrera del Profesorado en Química entre 2002 y 2005. Soy profesor de las carreras de grado en Química – Licenciatura y Profesorado – en el área de Química Analítica y Educación Química y también en el Programa de Posgrado en Educación Científica y Formación de Profesores de Ciencias y Matemáticas.

Coordino un proyecto de formación inicial de profesores de química lla-

mado Enseñanza de Química y Sociedad desde 2012, y un grupo de investigación en enseñanza de la química, en que participan estudiantes de grado y de posgrado que desarrollan investigaciones bajo mi dirección y docentes de química de secundaria.

Mis intereses de investigación incluyen los temas de lenguaje, discurso y la enseñanza de química y de ciencias, la formación de profesores, la historia del currículo y de la enseñanza de química y los métodos de investigación en educación.

1) ¿Cuál es su formación inicial? ¿Cuándo se inició en la investigación científica y en qué área?

Soy Licenciado en Química y me inicié en la investigación científica en el área de Química Analítica, estudiando la determinación espectrofotométrica de metales por medio del uso de moléculas orgánicas. Después, en la Maestría, desarrollé una tesis sobre el uso de moléculas orgánicas como trazadoras de contaminación ambiental en el mar.

2) ¿Cuándo, cómo y por qué comenzó a investigar en didáctica de las ciencias?

Después de 2002 estaba coordinando la carrera de Química de la Universidad donde trabajo en Bahía, Brasil, y en este momento teníamos solamente el Profesorado en Química, pues la Licenciatura es creada en 2005. Teníamos que hacer una reforma en el currículo para atender las nuevas directrices nacionales para la formación de profesores en Brasil y empecé a introducirme en las discusiones sobre el currículo y la formación docente. A partir de ahí fui seducido por el campo de la didáctica de las ciencias y comencé a pensar en hacer un doctorado en el área, lo que aconteció en 2005 con mi ida para la Argentina y el ingreso en el doctorado en la Universidad Nacional de Quilmes, donde puede profundizar mis estudios y formación como investigador en el área de la didáctica de las ciencias.

3) ¿Dónde desarrolla su investigación actualmente? Describa brevemente su línea de investigación.

Actualmente además de mis funciones como docente universitario desarrollo investigación en el campo de la didáctica de la química, y dirijo tesis de maestría y monografías de grado (tesinas) de estudiantes del profesorado. Mi línea de investigación principal se desarrolla con base en el referente teórico de la sociología de la educación de Basil Bernstein, aplicado al análisis de las interacciones entre docentes y alumnos en clases de química de la escuela secundaria, y trato de hacer estudios comparativos de ambientes escolares de distintos contextos socioculturales de nuestra realidad brasileña, enmarcada por la desigualdad social.

4) *¿Cuáles cree Ud. que serán los próximos desafíos a afrontar en el campo de la didáctica de las ciencias?*

Un desafío perenne de la didáctica de las ciencias es acercar los docentes de la escuela con los resultados de la investigación, y hacer con que ellos se entusiasmen por llevar al aula la innovación producida en el campo de la investigación en didáctica. También es un desafío formar docentes de ciencias que además de conocer los contenidos del área de su enseñanza también conozcan el campo de la didáctica de las ciencias, para que puedan dialogar con más fluidez con investigadores y diseñadores de currículos y materiales de innovación didáctica.

5) *¿Qué consejos le daría a aquellos interesados en dedicarse a la investigación en didáctica de las ciencias?*

Si desean dedicarse a la investigación en didáctica de las ciencias haciendo posgrados en el nivel de maestrías y doctorados, que busquen programas de posgrados bien conceptuados, con cuerpo docente reconocido y profesores capaces de dirigir tesis con dedicación y atención a sus estudiantes. También deben tener en cuenta que hay que leer mucho, pues la didáctica de las ciencias es un campo interdisciplinar para el cuál contribuyen conocimientos de áreas como la psicología, la sociología, la epistemología, la antropología, la lingüística, entre otras.



Gracias Bruno!!

Para profundizar

SOBRE EL ORIGEN DE LOS ISÓMEROS, TAUTÓMEROS, LA RESONANCIA Y LAS ESTRUCTURAS CONTRIBUYENTES

Sara Noemí Mendiara¹ y Luis José Perissinotti^{1,2}

1) *Departamento de Química. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. UNMDP. Ma r del Plata, Buenos Aires, Argentina.*

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

E-mail: mendiara@gmail.com

Resumen. Se realiza un interesante recorrido, partiendo desde el comienzo del siglo XIX, con el propósito de conocer cómo se estudiaron las sales de los cianatos y los fulminatos y como estuvieron vinculadas a propuestas claves, fundamentales en el desarrollo de la química. Se exponen muchos conceptos: el concepto de isómero, de tautómero y de estructura contribuyente de resonancia entre otros. La discusión o análisis del tema está ordenada según una secuencia histórica, destacando la importancia de los métodos instrumentales que avalaron las propuestas teóricas, por ejemplo la técnica cristalográfica con rayos X y la espectroscopía de infrarrojo. Una parte del tema trata particularmente sobre la teoría de resonancia, una teoría cualitativa que se desarrolló en gran parte empíricamente. Las estructuras de resonancia constituyeron una gran herramienta para el entendimiento y el aprendizaje estructural, en la Química inorgánica y fueron fundamentales en la Química orgánica. A lo largo de este trabajo recordamos especialmente a Linus Pauling, el ilustre creador de la hibridación y de la resonancia en la química.

Palabras clave: cianatos, isocianatos, fulminatos, resonancia, estructuras contribuyentes.

About the origin of Isomers, Tautomers, Resonance and Contributing structures

Abstract. An interesting tour is developed, starting from the beginning of the 19th century, in order to know how the cyanates and the fulminates salts were studied and linked to key and fundamental proposals on the development of chemistry. Several concepts are exposed: the concept of isomer, tautomer and contributing structure of resonance among others. The discussion or analysis of the topic is arranged according to an historical sequence, stressing the importance of instrumental methods that supported the theoretical proposals, for example the crystallographic x-ray and infrared spectroscopy technique. A part of the topic is particularly about the theory of resonance, a qualitative theory which was developed largely empirically. Resonance structures constituted a great tool for understanding and structural learning in inorganic chemistry and were fundamental in organic chemistry. Throughout this work, we remember especially Linus Pauling, the illustrious creator of hybridization and resonance in chemistry.

Key words: cyanates, isocyanates, fulminates, resonance, contributing structure.

INTRODUCCIÓN

Hace ya veinte años del fallecimiento de Linus Carl Pauling, quien fue premio Nobel de Química en 1954 y de la Paz en 1962. Pauling realizó numerosas contribuciones a la Ciencia y en este trabajo recordaremos, en parte, su aporte a la teoría electrónica de la valencia, a la cual aplicó los principios fundamentales de la mecánica cuántica como una guía valiosa y efectiva. Pauling, elaboró con sencillez los nuevos conceptos sobre la unión química, que se iban forjando durante la primera mitad del siglo XX e introdujo en la teoría química un nuevo concepto, el de *resonancia*. Continuó el camino iniciado por otros investigadores como: A. Kekulé en 1865, J. Thiele en 1899, T. Lowry en 1923, F. Arndt en 1924 y 1930, H. Lucas en 1924 y C. Ingold en 1926, a quienes consideró como precursores de su trabajo. En especial, Pauling consideró que la teoría de Thiele de la valencia parcial fue el primer paso hacia el desarrollo de la teoría de resonancia, (Pauling, 1965, p 3 y p 188, pp 225-226).

En este trabajo, elegimos estudiar unas sales conocidas desde hace mucho tiempo, los cianatos y los fulminatos, tratados en general superficialmente o ignorados en los cursos introductorios. Realizaremos un interesante recorrido, partiendo desde el comienzo del siglo XIX, con el propósito de conocer como se estudiaron esas sales y como quedaron vinculadas a propuestas claves, fundamentales en el desarrollo de la química. Se introducen los conceptos de isómeros, tautómeros, estructuras contribuyentes de resonancia entre otros. La discusión del tema está ordenada según su secuencia histórica, de modo que el lector tiene la oportunidad de volcar el tema en una línea de tiempo.

Se continúa destacando la importancia de los métodos instrumentales que avalaron las propuestas teóricas, como la técnica cristalográfica de rayos X y los distintos tipos de espectroscopías. Se completa el análisis de las estructuras de resonancia con un Esquema con las reglas para escribir las estructuras contribuyentes que tienen mayor peso.

Muchos docentes, seguramente, deben coincidir con Betancourt-Pérez, Olivera y Rodríguez (2010), quienes refieren que entre los conceptos que se enseñan en química orgánica, la *resonancia* es uno de los más difíciles para los estudiantes. Ellos recomiendan a sus estudiantes que integren los conocimientos previos como electronegatividad, estructuras de Lewis, octeto, separación de cargas, geometría molecular, hibridación, para construir las estructuras contribuyentes con movimientos electrónicos adecuados. Por otro lado, algunos investigadores, como Kerber (2006), criticaron el uso del término resonancia y en parte el trabajo de Pauling, lo cual motivó nuestra dedicación a describir con

ISÓMEROS

Hasta 1825, la química había supuesto que entre especies y fórmulas había una relación biunívoca. A partir de los trabajos de Liebig y Wöhler se agregaba un nuevo escalón en el conocimiento, dos especies distintas tenían la misma fórmula y en consecuencia Berzelius acuñó para estos casos la palabra ISÓMERO, cuyo significado etimológico es:



Hoy, nosotros estamos habituados a tratar con isómeros y nos resulta común que haya sustancias que difieren en el ordenamiento de sus átomos. En 1835, Wöhler escribió: *La química orgánica actual es suficiente para volverlo a uno loco...*. Los isómeros pueden tener tanto propiedades físicas como químicas muy distintas, como se da en el caso de los cianatos y fulminatos. Los cianatos suelen existir como sales estables, en cambio los fulminatos son sustancias explosivas, deben almacenarse en un lugar seco, fresco y sin roces o golpes.

EL ÁTOMO DE CARBONO, VALENCIA Y TRAZO

Durante el siglo XIX, a la par del desarrollo de las técnicas de aislamiento, los Químicos estudiaron la estructura de los compuestos a partir de deducciones basadas en las *fórmulas* y los *pesos moleculares*. Se destacó la versatilidad que tenía el átomo de carbono. Hoy decimos que se debe a sus cuatro electrones de unión y a su habilidad para formar uniones simples o múltiples, uniones covalentes, con otros átomos de carbono y con otros elementos. En teoría podrían formarse muchísimos compuestos con distintas propiedades físicas y químicas. En 1858, los trabajos de F. A. Kékulé y A. S. Couper, cambiaron la forma de pensar de los químicos, dando inicio a la construcción de una teoría estructural para los compuestos del carbono. Couper fue el pionero en el uso de fórmulas gráficas para los compuestos orgánicos, usando líneas (en principio punteadas o con guiones) para unir a los átomos. Pocos años después A. M. Bluteroov introdujo los términos: *estructura química*. Bluteroov extendió las ideas para todo tipo de átomo. Se había deducido para el carbono la misma valencia normal de cuatro tanto en los compuestos complicados como en los más sencillos y los átomos se vinculaban con uno o más trazos. Esta teoría fue muy útil antes de que se pudiese entender la propia naturaleza del enlace. Se denominan también fórmulas de trazos o lineales y son tan fáciles de escribir que aún las usamos. Se piensa que nunca en la historia de la ciencia un pensamiento tan simple explicó tanto tan fácilmente (Benfey, 1959; Bent, 1984; Leicester, 1940).

Es oportuno dibujar con trazos una serie de compuestos familiares:

agua; metano; tetracloruro de carbono; ión amonio; ión tetrametilamonio y ácido acético o etanoico, como se muestra en la *Figura 2*.

El descubrimiento del electrón por J. J. Thomson, hacia 1898, iluminó sobre la estructura de la materia. La teoría electrónica de G. N. Lewis contribuyó a explicar y representar los enlaces con pares de electrones y por lo tanto, el trazo pasó a considerarse un par de electrones. La sugerencia realizada por Lewis en 1916 fue intuitiva y W. Heitler y F. London, en 1927, la llevaron al terreno de la mecánica cuántica con el estudio y el cálculo de la energía de la molécula de hidrógeno, (Carey y Sundberg, 1990, p 2).

TRAZO, ESTRUCTURA DE LEWIS Y CARGA FORMAL

En la *Figura 1* se tienen las fórmulas de los aniones isómeros cianato y fulminato, pero aún no podemos asignar el ordenamiento que les corresponde. En la *Figura 3* se puede notar que II se escribió con un ordenamiento que es la imagen especular del ordenamiento dado en la *Figura 1* y no se afecta la distribución de los trazos que relacionan los átomos. Lo mismo podría hacerse con I y III, lo importante es que no se altere la secuencia. Sobre la base del conocimiento adquirido podemos escribir los aniones en la forma de estructura de trazos y como estructuras de Lewis. Se pueden señalar, además, las cargas formales distintas de cero en cada átomo, tal como se muestra en la *Figura 3*. Podemos recordar que la carga formal en un átomo representa el defecto o exceso de electrones con respecto a los electrones de valencia de dicho átomo.

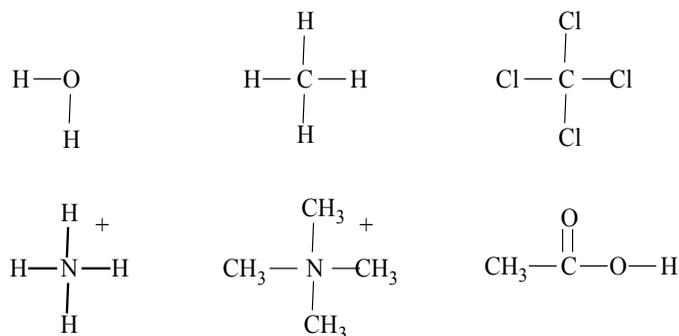


Figura 2. Representación según Kekulé-Couper-Blutero de las siguientes especies: agua, metano, tetracloruro de carbono, amonio, tetrametilamonio, ácido etanoico.

ISÓMERO Estructura de Trazos Trazos + Lewis + carga formal

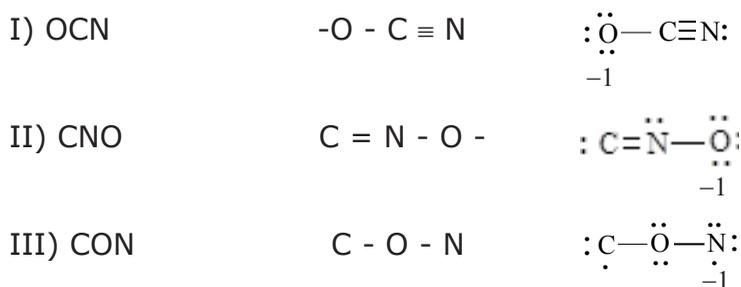


Figura 3. Estructura del anión constituido por los átomos de carbono, nitrógeno y oxígeno. Se interpretó la estructura de los isómeros con la teoría de trazos y la de Lewis y se indicó la carga formal en el átomo donde es distinta de cero.

Analizando la valencia en las estructuras de trazos y el cumplimiento de la regla del octeto en las estructuras de Lewis podemos llegar a considerar una estabilidad comparativa de los aniones. Observemos que en el caso del isómero **I** se observa que los átomos están relacionados entre sí con las valencias esperadas y que todos los átomos cumplen la regla del octeto. En cambio, en el caso del isómero **II**, el átomo de carbono no está relacionado con la valencia esperada y además en la estructura de Lewis no cumple la regla del octeto. El análisis anterior sugiere que el isómero **II** es menos estable que el **I** y por lo tanto el isómero **I** podría corresponder al cianato de Wöhler. En el caso del isómero **III** el átomo de oxígeno es el único que se relaciona con la valencia esperada, es el único que cumple la regla del octeto en la estructura de Lewis y quedan electrones desapareados en los átomos de carbono y nitrógeno. Este análisis sugiere que este ordenamiento sería muy improbable y lo descartamos. Por lo tanto, se sugiere que el isómero **II** correspondería al fulminato.

TAUTÓMEROS

Al completar la estructura de los aniones isómeros, por ejemplo, con el protón, tenemos a su vez dos nuevos isómeros a partir del isómero I y otros dos nuevos isómeros a partir del isómero II.

Veamos los dos isómeros a partir de I)

Se trata de los tautómeros IA y IB, también conocidos como ácido ciánico y ácido isociánico.



Tautómeros



El ácido ciánico y el isociánico son isómeros, tienen la misma fórmula

molecular, el átomo de hidrógeno solamente cambió de lugar. En este caso particular las moléculas estarían en equilibrio y un hidrógeno en un caso está unido al átomo de oxígeno y en otro caso está unido al átomo de nitrógeno. Los compuestos que intervienen en un equilibrio, en principio pueden aislarse, sin embargo, el ácido ciánico puro no se ha obtenido. En las reacciones de protonación del anión cianato se obtiene siempre el ácido isociánico. El ácido isociánico es la forma predominante en todos los solventes.

Veamos los dos isómeros a partir de II)

Se trata de los tautómeros IIA y IIB, también conocidos como ácido fulmínico y ácido isofulmínico.



Tautómeros



Es notable que los ácidos IA, IB, IIA y IIB estén formados por un átomo de cada uno de los cuatro elementos más importantes de la química orgánica.

HIBRIDACIÓN

Linus Pauling había observado que la configuración electrónica del carbono, en la Tabla Periódica, no permitía establecer una relación con la estructura tetraédrica propuesta en 1874, independientemente por J. H. Van't Hoff y J. A. Le Bel, para el carbono saturado. Pauling comenzó a trabajar hacia 1928 en la teoría de orbitales atómicos híbridos o hibridados, la cual se ajustaba a la geometría molecular. Hoy, no solamente hablamos del carbono tetraédrico sino del carbono hibridado sp^3 . Además de la escritura de las fórmulas con las estructuras de trazos como en la *Figura 2*, podemos diseñar las estructuras espaciales correspondientes, como en la *Figura 4*. Esta representación de moléculas e iones resulta más adecuada que la de esferas interpenetradas, que representan a los átomos, porque permite mostrar la longitud de enlace y el ángulo de enlace. En la *Figura 4* podría considerarse que las esferas representan a los núcleos de los átomos, aunque no estarían en la escala correcta. El tamaño real de los núcleos en relación con las longitudes de enlace o distancias internucleares es tan pequeño que no se podría visualizar en el esquema.

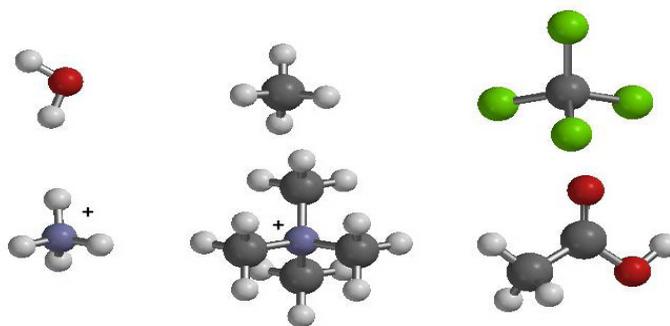


Figura 4. Estructuras espaciales basadas en la geometría. Avaladas por las mediciones experimentales y explicadas por la teoría de orbitales híbridos.

ESTRUCTURAS DE RESONANCIA

Con el advenimiento de los métodos espectroscópicos y de difracción se midieron ángulos de enlace y longitudes de enlace. Las mediciones, no solamente permitieron avalar la teoría de orbitales hibridados, sino que, además, mostraron que algunos datos no correspondían ni a uniones simples, ni a dobles, sino a valores intermedios. Linus Pauling, en sus trabajos de 1928 y 1931, realizó un análisis detallado de la hibridización de orbitales atómicos y comenzó su estudio sobre las estructuras de resonancia (Pauling, 1928 y 1931; Asimov, 1990; Davenport y col., 1996).

Ilustramos en la *Figura 5* los tautómeros IA y IB en equilibrios ácido-base con sus respectivos aniones. Los aniones son las dos formas posibles del isómero I, que tienen el mismo ordenamiento de átomos, pero distinta distribución de enlaces o distintas estructuras de Lewis. A este tipo de estructuras Pauling las denominó estructuras de resonancia. Se conocen mejor como estructuras contribuyentes y suelen representarse por un híbrido de resonancia. Estas estructuras contribuyentes no pueden considerarse especies químicas distintas, no son aislables y por lo tanto no tiene sentido considerar un equilibrio químico entre ellas. Algunos las denominan formas canónicas.

Puede observarse en la *Figura 5* que, en este ejemplo, los tautómeros IA y IB, comparten como anión o base conjugada el mismo conjunto de *estructuras contribuyentes de resonancia*. En consecuencia no podemos diferenciar entre un anión cianato y un anión isocianato. También se pueden diseñar estructuras contribuyentes para cada tautómero.

En las estructuras contribuyentes, los átomos no cambian de lugar, cambian los enlaces en las estructuras de trazos o los electrones en las estructuras de Lewis.

Actualmente, dado el constante progreso, no nos animamos a asegurar

que en el futuro no pueda darse algún tipo de evidencia directa de una estructura contribuyente de resonancia.

Estructuras contribuyentes de resonancia del anión



Tautómero IA



Tautómero IB



Algunas estructuras contribuyentes de los tautómeros

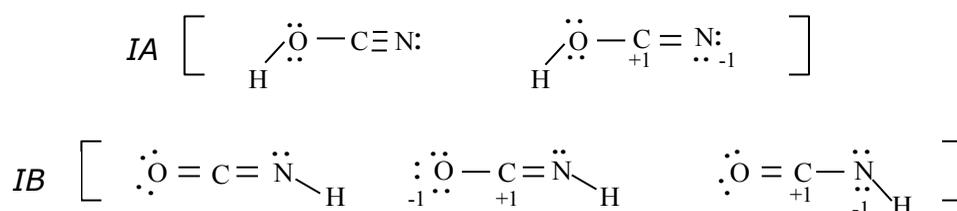


Figura 5. Isómeros. Tautómeros. Estructuras de resonancia.

Los tautómeros pueden separarse. Las representaciones del cianato y la del isocianato son estructuras contribuyentes de resonancia. También se muestran las correspondientes estructuras contribuyentes de los tautómeros (no se consideraron separaciones de cargas mayores de la de alrededor de un enlace)

***2**

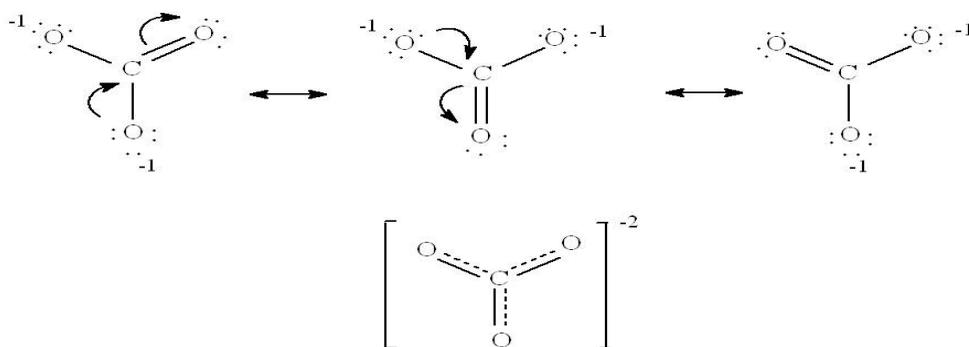
Se puede realizar un planteo similar al de la *Figura 5*, para el isómero II y los tautómeros IIA y IIB, ver *Figura 11*. Considerando que los tautómeros **IA** y **IB** comparten, en la reacción de disociación, los aniones (o el híbrido de resonancia) y que, el tautómero **IA** no ha sido posible aislarlo a partir de la solución ácida, nos lleva a proponer que el tautómero

IB tiene mayor estabilidad y una constante de acidez considerablemente menor que la del tautómero **IA**.

Hoy, sobre la base de las teorías electrónicas desarrolladas a principios y durante el siglo XX, están incorporados en nuestro conocimiento la configuración electrónica, los orbitales atómicos, los orbitales hibridados, los orbitales moleculares y también las estructuras de resonancia.

Las estructuras de resonancia, constituyeron desde su uso por Pauling, una gran herramienta para el entendimiento y el aprendizaje estructural en la Química inorgánica y fueron fundamentales en la Química orgánica.

Se pueden completar en la *Figura 5* las estructuras contribuyentes del anión con los electrones, según Lewis, e indicar con flechas el movimiento de electrones. Puede observarse también la ilustración en la *Figura 6* del familiar anión carbonato, en el cual queda muy bien representado el resultado experimental de un solo valor para la longitud de enlace carbono-oxígeno. Este ejemplo resulta el ideal para representar un híbrido de resonancia porque todas las estructuras son, en realidad, iguales.



Híbrido de resonancia

Figura 6. Ilustración de las estructuras contribuyentes de resonancia del anión carbonato y del híbrido de resonancia.

RESULTADOS EXPERIMENTALES QUE AVALARON LAS PROPUESTAS ESTRUCTURALES

Ácido Isociánico (Tautómero **IB**)

En la *Figura 7* se plantearon estructuras contribuyentes para el ácido isociánico.

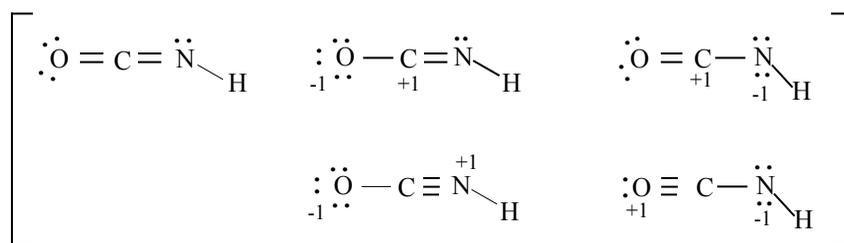


Figura 7. Estructuras contribuyentes de resonancia para el ácido isociánico.

Un método moderno para preparar ácido isociánico parte del cianato de sodio o potasio anhidro y purificado, el cual se hace reaccionar con ácido esteárico seco bajo vacío y a 90°C, (Zyrianov, Droz-Georget, Sanov, Reisler, 1996).

Los investigadores Jones, Shoolery, Shulman y Yost (1950), realizaron mediciones espectroscópicas de infrarrojo y de microondas. Para las distancias C-O midieron 1.171 Å y para C-N, 1.207 Å, ambos con un error de 0.01 Å. Jones (1950), informa en su trabajo que otros investigadores habían medido con un error de 0.03 Å distancias iguales de 1.19 Å, con la técnica de difracción electrónica. También midieron para el ángulo H-N-C el valor de 128°. Además, de los estudios espectroscópicos de infrarrojo no quedó duda de la presencia de la unión N-H, ya que se midió una absorción característica de estiramiento del enlace simple nitrógeno-hidrógeno a 3538 cm⁻¹ (se muestra la unidad número de onda, que es la inversa de la longitud de onda, l-1. También suele medirse en función de la frecuencia, c.l-1). El número de onda de la absorción correspondiente al hidrógeno unido al oxígeno suele ser de 3680 cm-1. En consecuencia, los resultados avalan la estructura de la *Figura 7* para el ácido isociánico.

En cuanto al ácido ciánico, tautómero **IA**, Jacox y Milligan (1964) lograron demostrar directamente su existencia. Utilizaron la técnica de aislamiento en una matriz. El ácido isocianico con hidrógeno y su isómero con deuterio se mantuvieron en argón y en matrices de nitrógeno a 4 y 20 K; por fotólisis se obtuvieron los correspondientes tautómeros, los **IA**.

Cianato de sodio (Isocianato de sodio)

Podríamos dibujar un híbrido de resonancia para el cianato, pero tiene la dificultad que las estructuras contribuyentes no son iguales como podemos observar, en la *Figura 6*, para el carbonato. En el cianato/isocianato debería tener mayor peso la estructura contribuyente con la carga negativa sobre el oxígeno, por ser más electronegativo. Se tendría una estructura iónica ambidentada para el cianato/isocianato.

Híbrido de resonancia



Estructuras contribuyentes de resonancia del anión



Se dispone del espectro infrarrojo de una muestra sólida de *nujol mull*, (mezcla de la muestra de cianato de sodio molida con aceite mineral). En el espectro se observa una absorción en la zona que corresponde a los nitrilos y a los isocianatos, (NIST web book, anterior a 1970), *Figura 9a*. En la *Figura 9b* se muestran, además, los espectros del benzonitrilo y del bencilisocianato y podemos apreciar que el grupo funcional nitrilo y el isocianato absorben aproximadamente en la misma zona. Al comparar se debe prestar atención, porque las escalas son distintas.

Los nitrilos originan una señal angosta de mediana intensidad, en función de $I-1$, entre $2240 - 2260 \text{ cm}^{-1}$.

Los isocianatos originan una absorción ancha e intensa, en función de $I-1$, entre $2100 - 2270 \text{ cm}^{-1}$.

Puede deducirse que la absorción observada, si bien es en la misma zona de los nitrilos e isocianatos corresponde a algo distinto, o sea, podemos decir que corresponde al híbrido de resonancia.

Cianato de plata (Isocianato de plata)

A pesar de ser un compuesto sencillo, la estructura cristalina del denominado cianato de plata se determinó en 1965 con la técnica de difracción con rayos X. Britton y Dunitz (1965) concluyeron del análisis que el enlace Ag-N es **fuertemente covalente**. En la *Figura 8* puede apreciarse que los átomos de Ag están entre dos átomos de nitrógeno formando cadenas infinitas, el ángulo Ag-N-C es de 128.2° . En la estructura cristalina del cianato de plata, las distancias N-C y C-O son las mismas dentro del error experimental. Los datos son compatibles con una hibridización aproximada sp^2 del átomo de nitrógeno. De acuerdo a su estructura cristalina el compuesto es más bien el isocianato de plata y no le correspondería el nombre de cianato de plata, usualmente usado.

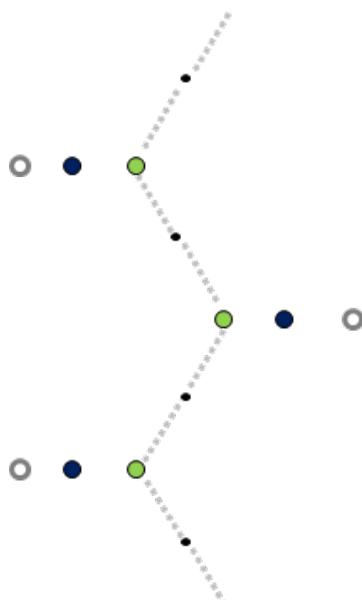
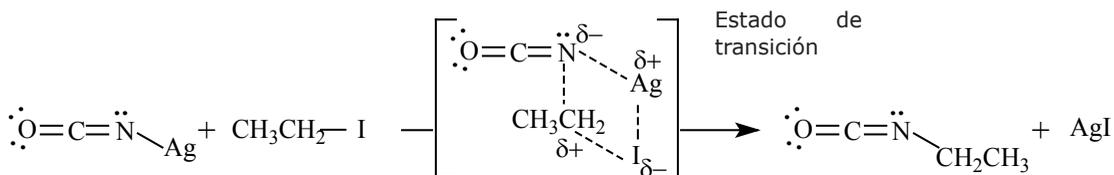


Figura 8. Estructura cristalina de la sal de plata, ● Ag, ● N, ● C, ○ O

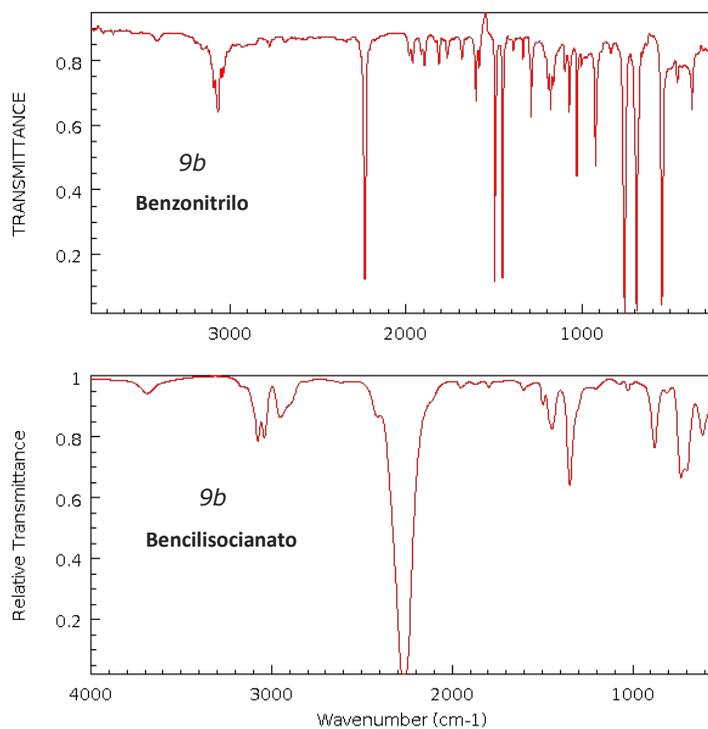
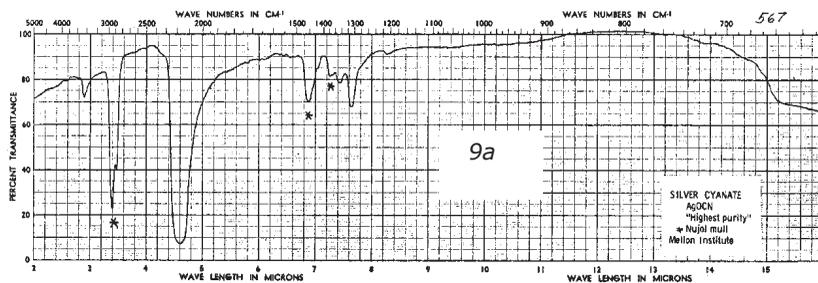
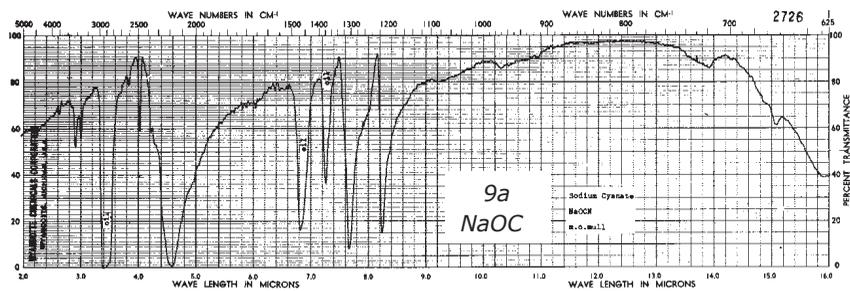
Los cristales se prepararon disolviendo nitrato de plata en una solución acuosa de urea y dejando reposar, en la oscuridad, durante dos meses.

Por otro lado, se dispone del espectro infrarrojo de una muestra sólida como *nujol mull*, (mezcla de la muestra de cianato de plata molida con aceite mineral). En el espectro se observó una absorción en la zona que corresponde a los nitrilos y a los isocianatos, pero se asemeja más a la de los isocianatos, (Miller y Wilkins, 1952; NIST web book, anterior a 1970), Figuras 9a y 9b.

En coherencia con estos resultados la reacción del isocianato de plata con el ioduro de etilo origina el isocianato de etilo, como se muestra a continuación:



En cambio en el espectro infrarrojo del cianato de sodio, un compuesto claramente iónico, se observó una absorción particular, algo que representa al híbrido de resonancia del anión. En las reacciones orgánicas los comúnmente denominados cianatos, como nucleófilos, forman usualmente compuestos orgánicos que son isocianatos. Sucede como se observó en la Figura 5, análogamente en la reacción que se muestra a continuación, el más estable es el isómero isocianato de alquilo.



Figuras 9a. Espectros de Infrarrojo del cianato de sodio y cianato de plata.
 Figuras 9b. Espectros de Infrarrojo del benzonitrilo y del bencilisocianato.
 Observar que las escalas son un poco diferentes. Wavenumber, cm^{-1} (1-1)

Recién entre 1965 y 1971, se pudo dar evidencia de la estructura del ácido fulmínico, que se había aislado en estado puro. El ácido se libera del fulminato de sodio en una solución diluida de ácido sulfúrico, se destila con éter o se sublima a baja temperatura y presión. Un análisis detallado de los espectros de microonda e infrarrojo confirmó que la estructura correspondía a la del nitrilo N-óxido, la fórmula **IIA**. El espectro de infrarrojo muestra la absorción de estiramiento C-H, a 3335 cm^{-1} , claramente diferente de la que correspondería al O-H, que se observaría a 3600 cm^{-1} , (Beck y Feldl, 1966).

A la fórmula **IIB** se le dio luego el nombre de ácido isofulmínico. El tautómero **IIB** fue detectado como transiente por espectroscopía infrarroja en la irradiación de la dibromoformoxima, en argón y a 12 K, (Maier, Teles, Jess, Schaad, 1988). Puede observarse, en la *Figura 12* que finalmente se isomeriza al isocianico.

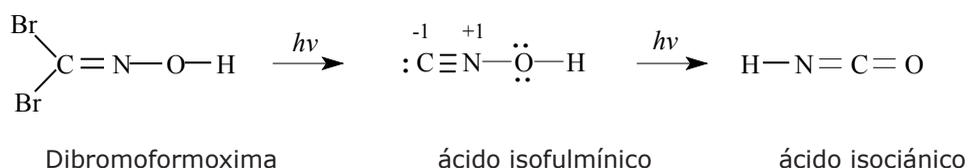


Figura 12. Irradiación de dibromoformoxima en argón a 12 K con una lámpara de mercurio a 254 nm.

En 1926, Pauling mostró sobre la base de cálculos termodinámicos de energía libre que **IIA** era más estable que **IIB** y por lo tanto debía considerarse como la representación del ácido fulmínico.

Los estudiantes pueden investigar la distinta estabilidad de los isómeros o de los tautómeros calculando las respectivas energías utilizando algún método computacional. Nosotros utilizamos, por ejemplo, el programa Spartan con el método de funcional de densidad y obtuvimos valores de energía menores para el ácido fulmínico y el isocianico.

La mayor estabilidad de los isocianatos explica que en las reacciones orgánicas los cianatos formen usualmente isocianatos y que los cianatos, con el tiempo, evolucionen hacia los isocianatos, al igual que el ácido isofulmínico.

SOBRE LA RESONANCIA, EN GENERAL

Las estructuras de resonancia se separan por una flecha con doble cabeza, (\leftrightarrow), la cual indica que las propiedades reales de la sustancia no pueden representarse por ninguna de dichas estructuras en forma aislada. Algunos autores prefieren separarlas utilizando el símbolo punto y coma (;), o simplemente separarlas con espacios y a veces se encierran todas entre corchetes, (Morrison y Boyd, 1992).

La resonancia es un ejemplo de un modelo que se desarrolló para interpretar los resultados experimentales.

En el Esquema 1 se muestran las reglas elaboradas con el objeto de asignar un orden de importancia o de peso a las estructuras contribuyentes seleccionadas para una dada molécula, especie o estructura química.

Esquema 1. A) Reglas para asignar un orden de importancia o peso a las estructuras contribuyentes de resonancia que se seleccionan y dibujan. B) El híbrido de resonancia y C) Ilustración de las reglas con ejemplos.

A) ESTRUCTURAS CONTRIBUYENTES

1. Todos los núcleos deben estar en la misma posición. Si los núcleos cambian de posición las estructuras son químicamente distintas y la interconversión es un cambio químico, como sucede en la tautomería.
2. Las estructuras con menos enlaces o con mayor separación de cargas de distinto signo tienen mayor energía.
3. Cuando dos estructuras con carga formal tienen el mismo número de uniones y aproximadamente el mismo grado de separación de cargas, la estructura con carga negativa en el átomo más electronegativo será la contribuyente más importante, pero ambas estructuras deben considerarse.
4. Las formas de resonancia que tienen un átomo electronegativo con un octeto incompleto y una carga formal positiva no son significativas.
5. Recordar que son solamente "Reglas".

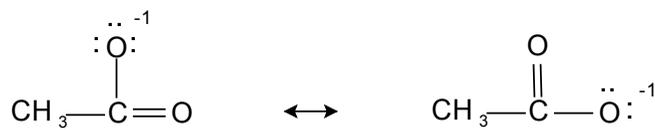
B) HÍBRIDO DE RESONANCIA

El híbrido se parecerá más a la forma de mayor peso.

Esta tendrá más uniones covalentes, octetos completos y el mínimo de separación de cargas.

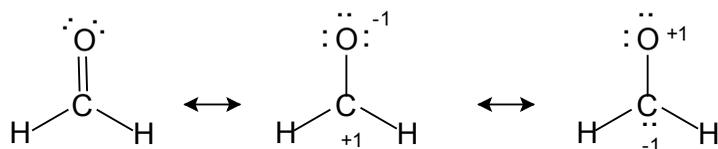
C) ILUSTRACIÓN DE LAS REGLAS CON ALGUNOS EJEMPLOS

- 1- Estructuras con igual peso en el anión del ácido acético o etanoico.

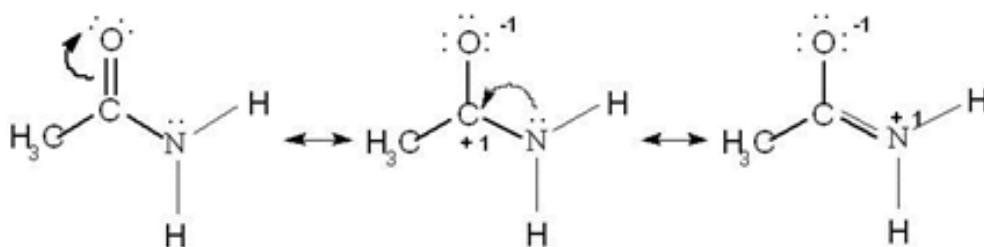


Están relacionadas con una mayor estabilización.

- 2- Hay estructuras que no son significativas. En el formaldehído, la tercera estructura no es significativa, el átomo de oxígeno electronegativo tiene una carga positiva y no cumple la regla del octeto.



3- En la acetamida o etanamida la segunda estructura tiene poco peso, en el átomo de carbono no se cumple el octeto. En la tercera estructura tenemos el caso particular de un átomo electronegativo con una carga formal positiva pero que cumple la regla del octeto.



Las flechas se utilizan en las estructuras contribuyentes para indicar el movimiento de electrones, siempre en la dirección del flujo de electrones. No deben usarse flechas curvadas para indicar el movimiento de átomos.

Flujo de un par de electrones



Flujo de un electrón desapareado



Algunos autores no usan las flechas curvadas, dado que las destinan para expresar el desplazamiento de los electrones en las fórmulas con las cuales se describen las reacciones (March, 1992; Morrison y Boyd, 1992)

Cuando una especie presenta estructuras de resonancia con igual peso suele corresponder con el hecho experimental de que esa especie presente una mayor estabilidad.

La resonancia molecular es una componente clave en la Teoría del enlace covalente.

La *teoría de resonancia* se convirtió esencialmente en una teoría química, cualitativa, se desarrolló en gran parte empíricamente logrando una gran difusión en distintas áreas de la química.

CONCLUSIONES

ALGUNOS COMENTARIOS DE LINUS PAULING

Debido a que el sistema resonante no tiene una estructura intermedia entre aquellos comprendidos en la resonancia, prefiero no usar la palabra mesomerismo, sugerida por Ingold en 1933 para el fenómeno de resonancia (Pauling, 1965, p 10).

Una substancia que resuena entre dos o más estructuras de uniones de valencia no contiene moléculas con las configuraciones y propiedades usualmente asociadas con estas estructuras. Las estructuras contribuyentes de un híbrido de resonancia no tienen realidad en este sentido, (Pauling, 1965, p 580).

El fin último, una teoría que permita la predicción cuantitativa de la estructura y propiedades de las moléculas, está muy lejos, (Pauling, 1965, p 582). Seguramente Pauling, hacia 1994, no consideraba válida su afirmación.

REFLEXIONES SOBRE LA RESONANCIA

Primera reflexión:

¿Por qué el empleo de la teoría de resonancia, basada en la teoría de unión de valencia o de electrones de valencia es cualitativo?

Si bien el término *resonancia* ya había sido usado en la mecánica cuántica, como una analogía clásica por W. Heisenberg, Pauling define un nuevo *concepto de resonancia* y lo aplica desde el punto de vista *mecánico-cuántico* a la estructura química, (Pauling, 1965, p 11).

Debido a la complejidad de los sistemas químicos la resolución de la ecuación de Schrödinger es imposible. El método aproximado, generalmente utilizado, se basa en el teorema *variacional*. En la mecánica cuántica se representa el estado de un sistema mediante una función de onda. Sea ψ_0 la función de onda correcta para el estado fundamental (es el estado de menor energía) del sistema en estudio y ψ la función de onda aproximada propuesta. Entonces, el valor de la energía que se calcularía usando la función de onda correcta ψ_0 , para el estado fundamental del sistema, es siempre menor que el calculado realmente con cualquiera otra función de onda y aproximada que pudiera proponerse. Si hubiera dos funciones de onda aproximadas, la de menor energía estará más cerca de ψ_0 .

Un caso particular del método *variacional* y que se emplea en química es el *método variacional lineal*, que emplea como funciones de onda de prueba combinaciones lineales de funciones base. Variando los coeficientes de dichas funciones base, en la combinación lineal, se busca

minimizar la energía.

Consideremos ahora dos estructuras contribuyentes I y II que puedan participar en la descripción del estado fundamental del sistema. Los métodos de la teoría son tales que la función más general: $y = a.y_I + b.y_{II}$ en la cual a y b son coeficientes numéricos arbitrarios ajustables, es también una función de onda posible del sistema. Puede hallarse la relación b/a que da a la energía su mínimo valor y entonces esta última función de onda es la mejor aproximación a la función de onda correcta que puede lograrse con esa combinación lineal.

El número de estructuras contribuyentes consideradas puede ser más que dos, en general:

$$\psi = a.\psi_I + b.\psi_{II} + c.\psi_{III} + d.\psi_{IV} + \dots$$

Cuanto mayor sea el número de funciones consideradas (de estructuras contribuyentes) más se aproximará ψ a ψ_0 . Los coeficientes representan la importancia o el peso de cada estructura contribuyente considerada, (Pauling, 1965, pp 9-11).

En los libros de texto es común leer los siguientes comentarios:

- *Las estructuras de resonancia no pueden separarse. No tienen existencia, la especie no alterna rápidamente entre ellas. No sucede que algunas especies tengan un tipo de forma canónica y otras un tipo distinto. Todas las moléculas de una misma substancia tienen la misma estructura, (March, 1992, p 34).*
- *En la química orgánica encontraremos moléculas a las que se pueden asignar varias estructuras de Lewis correctas, (Schore y Vollhardt, 2000, p 20).*
- *Hay muchas substancias que no pueden describirse por medio de una sola estructura electrónica del tipo de unión de valencia, (Chang, 2007, p 377).*
- *Las formas resonantes obedecen a las reglas de valencia normales. La regla del octeto se sigue aplicando a los átomos de los grupos principales, (McMurry, 2010, p 46).*
- *La distribución electrónica p de varias moléculas no está bien representada por una fórmula estructural sencilla. Esta limitación resulta debido a que la fórmula estructural tiene su origen en el modelo de enlace de pares de electrones, el cual no describe bien el enlace deslocalizado. Para justificar esta limitación, con frecuencia se describen estos sistemas por medio de la resonancia entre dos o más estructuras, (Kuhn, Försterling y Waldeck, 2012, p 216).*

Concluimos con la definición de resonancia que da IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry)

- *En el contexto de la química, la resonancia es la representación de la estructura electrónica de una molécula con estructuras contribuyentes. La resonancia entre las estructuras contribuyentes significa que la función de onda es una mezcla de las funciones de onda de las estructuras contribuyentes. Este concepto es la base del método de unión de valencia de la mecánica cuántica. La estabilización resultante está vinculada al concepto mecánico cuántico de energía de resonancia. El término resonancia también es usado para el fenómeno de deslocalización, (IUPAC, 2014).*

La elección de las funciones base, en el método *variacional* lineal siempre tiene cierto grado de arbitrariedad y la elección se justifica debido a los buenos resultados que se obtengan. Por ejemplo, en la resolución de la molécula de hidrógeno se logró una mejor aproximación a los valores experimentales de la energía cuando a las estructuras covalentes se añadió una menor contribución de estructuras con separación de cargas, (Levine, 2000, p 414).

Podemos agregar por ahora, que la resolución de un sistema empleando como funciones base estructuras de unión de valencia contribuyentes seleccionadas sería muy complicada matemáticamente. Por eso se realizan cálculos donde las funciones base son más simples: métodos con distintas funciones orbitales tipo hidrogenoides, con orbitales p_z como en el método de Hückel, métodos con funciones gaussianas, etc. En estos últimos casos se obtienen orbitales moleculares que están total o parcialmente deslocalizados, en contraste con la teoría de unión de valencia en la cual los orbitales moleculares están localizados en la zona del enlace químico clásico. Sin embargo, ambos conceptos están relacionados y muchas veces las descripciones son interconvertibles, (Bernett, 1969).

A continuación utilizaremos las siguientes abreviaturas:

Método de orbitales moleculares (OM)

Método de unión de valencia o electrones de valencia (EV)

Levine refiere que el investigador Simonetta, M., en 1952, realizó un cálculo semiempírico del benceno, incluyendo 5 estructuras contribuyentes covalentes y 54 estructuras contribuyentes iónicas polares. Utilizó parámetros empíricos ajustables para tener concordancia con los datos experimentales. Simonetta encontró la función de onda EV pi-electrónica del estado fundamental del benceno, en ella las estructuras de Kekulé aportaban mayor contribución y aunque los coeficientes de las estructuras iónicas eran pequeños, el gran número de estructuras iónicas hacía

significativa su contribución, (Levine, 1980, p556). No puede descartarse que en un futuro el método de EV pueda prosperar, el simple método de EV es más confiable que el simple OM cuando la distancia internuclear aumenta. Para la molécula de hidrógeno el método OM predice los productos de disociación incorrectos, (Levine, 2000, p 415).

Para cálculos cuantitativos, el método (OM) eclipsa el método (EV). La aproximación de la teoría de resonancia EV es más adecuada para un estudio cualitativo de la estructura molecular. A menudo se atribuye al método EV la ventaja de basarse en ideas químicas familiares del enlace y de la estructura, (Levine, 1980, p556).

Segunda reflexión:

Sobre el uso del término resonancia.

Kerber (2006), criticó el uso del término *resonancia*, porque se usa en física con un distinto significado. Propuso reemplazarlo por *deslocalización* y en lugar de energía de resonancia, propuso energía de *deslocalización*. Jensen (2006) y Truhlar (2007), explicaron ampliamente, que la sugerencia de Kerber no resultaría apropiada.

Entre las explicaciones de Jensen (2006) y Truhlar (2007) podemos citar que *localización* suele utilizarse en la teoría de EV y *deslocalización* en la teoría de OM.

Muchas veces las palabras generan encrucijadas confusas y debemos prestar especial atención a lo que describen. La resonancia está explicada, en forma gráfica, con muy buenas comparaciones en todos los libros de texto de química. Actualmente no sería adecuado poner otro nombre, ya que su empleo está muy difundido. Resultará mejor fortalecer el concepto con una buena enseñanza del tema, ya que nuestro cerebro se adapta a los distintos significados si se proporcionan explicaciones adecuadas.

Para que no haya confusión con el significado que pueda tener el término en otras disciplinas, se prefiere hablar de la ***resonancia en la química***.

Agradecimientos

Agradecemos mucho a nuestra hija, Laura Lucía Perissinotti, por habernos enviado una parte importante de la bibliografía.

Aclaraciones *

***1.** En la época había mucho interés en los fulminatos, porque estaban vinculados con las armas de fuego. El fulminato de mercurio comenzaba a utilizarse como iniciador de la combustión de la pólvora por percusión. Los fulminatos estallan con un golpe seco, (Kurzer, 2000). Para los Químicos, seguramente, era muy importante caracterizar y estudiar los fulminatos.

*2. En la Figura 5 se muestran estructuras contribuyentes con separación de cargas alrededor de un enlace, porque es el primer paso, que se basa en la diferencia de electronegatividad de los átomos. En la Figura 7, se muestran dos estructuras contribuyentes más para el tautómero IB. En este trabajo se consideraron estructuras contribuyentes significativas, para evaluar su peso puede consultar el *Esquema 1*.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asimov I. (1990). *Cronología de los Descubrimientos*. (Versión en castellano de la Primera Edición). Barcelona: Editorial Ariel, S. A.
- Beck, W. and Feldl, K. (1966). The structure of fulminic acid, HCNO, *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, 5 (8), 722-723.
- Benfey, O. T. (1959). Kekule-Couper centennial symposium: Introduction, *J. Chem. Educ.*, 36(7), 319-320.
- Bernett, W. A. (1969). Localized and delocalized molecular orbital descriptions of methane, *J. Chem. Educ.*, 46 (11), 746-749.
- Bent, H. (1984). Should Orbitals be x-rated in beginning Chemistry Courses?, *J. Chem. Educ.*, 61 (5), 421-423.
- Betancourt-Pérez, R., Olivera, L. J. and Rodríguez, J. E. (2010). Assessment of Organic Chemistry students' knowledge of Resonance-related structures, *J. Chem. Educ.*, 87 (5), 547-551.
- Britton, D. and Dunitz, J. D. (1965). The Crystal structure of silver cyanate, *Acta Cryst.*, 18, 424-428.
- Brock, W. (1998). *Historia de la Química*. Madrid: Ed. Alianza Editorial S. A.
- Bensaude-Vincent, B. and Stengers, I. (1997). *Historia de la Química*. Madrid: Ed. Addison-Wesley Iberoamericana S. A.
- Carey, F. A. and Sundberg, R. J. (1990). *Advanced Organic Chemistry, Part A: structure and mechanisms*. New York: Plenum Press.
- Chang, R. (2007). *Química*. (Traducción de la 9^{na} edición). México: McGraw-Hill, Interamericana.
- Davenport, D. A., Grayson, M., Paradowski, R. J., Jensen. W. B., Kauffman, G. B. and Kauffman, L. M. (1996). A tribute to Linus Carl Pauling (1901-1994), *J. Chem. Educ.*, 73 (4), 380-381.
- IUPAC. Compiled by McNaught, A. D. and Wilkinson, A. (1997). *Compendium of Chemical Terminology (the "Gold Book")*. (2nd edition). Oxford: Blackwell Scientific Publications. <http://goldbook.iupac.org>, actualizado 2014.
- Jacox, M. E., Milligan, D. E. (1964). Low temperature infrared study of

- intermediates in the photolysis of HNCO and DNCO, *J. Chem. Phys.*, 40 (9), 2457.
- Jensen, K. A. and Holm, A. (1964). Formation of monomeric alkyl cyanates by the decomposition of 5-alkoxy-1,2,3,4-thiazotriazoles, *Acta Chem. Scand.*, 18 (3), 826-828.
- Jensen, K. A., Due, M. and Holm, A. (1965). Alkyl Cyanates. Preparation and properties, *Acta Chem. Scand.*, 19 (2), 438-442.
- Jensen, W. B. (2006). More on the nature of resonance, *J. Chem. Educ.*, 83 (9), 1290-1291.
- Jones, L. H., Shoolery, J. N., Shulman, R. G. and Yost, D. M. (1950). The molecular structure of isocyanic acid from microwave and infra-red absorption spectra, *J. Chem. Phys.* 18 (7), 990-991.
- Kerber, R. C. (2006). If it's resonance., what is resonating?, *J. Chem. Educ.*, 83 (2), 223-227.
- Kuhn, H., Försterling, Horst-Dieter and Waldeck, D. H. (2012). *Principios de fisicoquímica*. (Traducción de la 2da edición, 2009). México: Cengage Learning Editores, S. A.
- Kurzer, F. (2000). Fulminic acid in the history of Organic Chemistry, *J. Chem. Educ.* 77 (7), 851-857.
- Leicester, H. M. (1940). "Alexander Mikhailovich Butlerov", *J. Chem. Educ.*, 17(5), 203-209.
- Levine, I. N. (1980). *Química Cuántica*. (Traducción de la 1ra edición). Madrid, Editorial AC.
- Levine, I. N. (2000). *Quantum Chemistry*. (5th edition). Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Liebig, J. (1847). *Tratado de Química Orgánica. Tomo I*. Madrid: Establecimiento tipográfico La Ilustración.
- Maier, G., Teles, J., Andes Hess, B., Jr. and Schaad, L. J. (1988). Carboxime (Isofulminic acid), *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, 27 (7), 938-939.
- March, J. (1992). *Advanced Organic Chemistry*. (Fourth Edition). USA: Ed. Wiley-Interscience.
- McMurry, J. (2010). *Química Orgánica*. (Traducción de la 7ma edición, 2008). México: Cengage Learning Editores, S. A.
- Miller, F. A. and Wilkins, C. H. (1952). Infrared spectra and characteristic frequencies of inorganic ions, *Analytical Chemistry*, 24, 1264.
- Morrison, R. T. and Boyd, R. N. (1992). *Organic Chemistry*. (Sixth Edition). New Jersey: Prentice Hall International, Inc.

- Pauling, L. (1928). The shared-electron chemical bond, *Proc. N. A. S.*, 14, 359-362.
- Pauling, L. (1931). The nature of the chemical bond. Application of results obtained from the quantum mechanics and from a theory of paramagnetic susceptibility to the structure of molecules, *J. Am. Chem. Soc.*, 53 (4), 1367-1400.
- Pauling, L. (1965). *Uniones Químicas*. (traducción de la 3ra edición, 1960). Buenos Aires: Editorial Kapelusz.
- Thènard, L. F. (1830). *Tratado completo de Química teórica y práctica, Tomo cuarto*. Nantes: Imprenta de Busseuill y Compañía.
- Truhlar, D. G. (2007). The concept of resonance, *J. Chem. Educ.*, 84 (5), 781-782.
- Schore, N. E. and Vollhardt, P. C. (2000). *Química Orgánica*. (Traducción de la 3ra edición, 1999). Barcelona: Ediciones Omega, S. A.
- Zyrianov, M., Droz-Georget, Th., Sanov, A., and Reisler, H. (1996). Competitive photodissociation channels in jet-cooled HNCO: thermochemistry and near-threshold predissociation, *J. Chem. Phys.* 105 (18), 8111-8116.

Para reflexionar

ANÁLISIS DE LAS COMPETENCIAS ARGUMENTATIVAS EN ALUMNOS UNIVERSITARIOS SOBRE EL TEMA CAMBIOS DE ESTADO DE LA MATERIA

Carlos Alberto Avalis, Héctor Santiago Odetti, José Rafael Rafaelli

Departamento de Química General e Inorgánica. Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas. Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.

E- mail: cavalis@fcb.unl.edu.ar

Resumen. El aprendizaje argumentativo uno de los propósitos actuales de la educación en ciencias experimentales. Para evaluar las destrezas argumentativas de los alumnos se utilizaron las herramientas que ofrecen las Tecnologías de la Información y de la Comunicación (TIC). Se identificaron dificultades argumentativas en alumnos regulares de química general de la FBCB de la UNL a partir de las respuestas obtenidas en las ACNP, Para ello se utilizó una secuencia de actividades, sobre cambios de estados de agregación de la materia, presente en <http://coloquioliquidos.blogspot.com/> del Departamento de Química General e Inorgánica a la cual acceden los alumnos que desean participar. La misma, es voluntaria, anónima y no vinculante. El análisis de los resultados se realizó usando la Taxonomía SOLO, que permite clasificar y evaluar el resultado de una tarea de aprendizaje en función de su organización estructural. Los resultados muestran que el 96,70 % alcanzó un aprendizaje superficial y un 3,30 % presenta un entendimiento profundo.

Palabras clave: competencia, argumento, aprendizaje, TIC

Argumentative competence analysis in university students on change of state of matter

Abstract. Argumentative learning is one of the current purposes in experimental sciences education. Tools offered by Communication and Information Technology (CIT) have been used to evaluate student's argumentative skills. Argumentative difficulties were identified in UNL FBCB general chemistry regular students from answers obtained from ACNP. A sequence of activities about change of state of aggregation of matter, present in the blogs: <http://coloquioliquidos.blogspot.com/> from the general and inorganic chemistry department, which can be visited by students who wish to participate, were used. It is voluntary anonymous, and non-binding. The analysis of the results was made by using the SOLO taxonomy, which allows the classification and evaluation of learning task on the bases of its organizational structure. The results show that 96,70 % reached superficial learning and 3,30 % show deep understanding.

Key words: competence, argument, learning, CTI.

INTRODUCCIÓN

En consonancia con la epistemología y los modelos de aprendizaje de las ciencias, los planes de estudio de las carreras científicas y de ingeniería enumeran una serie de competencias generales que, acompañadas de un proceso de enseñanza y aprendizaje adecuado, deberían conducir a los objetivos deseados. Así, los estándares básicos de competencias de ciencias experimentales (Informes PISA, 2006, Jiménez Aleixandre et al., 2009) buscan formar ciudadanos capaces de observar, predecir, plantearse preguntas, recoger y analizar información; establecer relaciones; etc., con base en los conocimientos científicos. Uno de los objetivos de todo docente debe ser plantear estrategias en la enseñanza y aprendizaje (Perren y Odetti, 2011) que potencien y desarrollen estas competencias.

En particular, dentro del lenguaje escrito y verbal en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias, ha cobrado especial relevancia el tema de la "argumentación" (Simon et al., 2006; Jiménez Aleixandre, 2010; Caamaño, 2010); siendo el aprendizaje argumentativo uno de los propósitos actuales de la educación en ciencias experimentales.

Hoy existe un consenso general sobre la importancia de los lenguajes y especialmente de la argumentación, en la construcción y valoración del conocimiento. Estudios antropológicos, como los de Latour- Woolgar y de Knorr- Centina (1995), reivindican el valor de la competencia comunicativa, o sea de la escritura, lectura y particularmente de la argumentación en la construcción y justificación del conocimiento científico.

En un mundo altamente tecnificado e industrializado, con severas crisis de contaminación y marginación social, es primordial la preparación de profesionales que sepan tomar decisiones apropiadas con fundamento. Bajo esta consigna el aprendizaje como argumentación se constituye en un pilar fundamental para la búsqueda de este objetivo.

El presente trabajo, desarrollado en el marco del proyecto CAI+D 2011: *El aporte de las TIC para el análisis de las argumentaciones en alumnos uni-versitarios de Química*, busca estudiar el efecto de actividades de debate desarrolladas en entornos no presenciales sobre el proceso de enseñanza y aprendizaje de la Química.

Estas actividades de debate se plantean sobre conceptos básicos de la asignatura Química General, así como sobre algunas de sus aplicaciones en situaciones prácticas o de interés.

Para evaluar las destrezas argumentativas de los alumnos se utilizaron las herramientas que ofrecen las Tecnologías de la Información y de la Comunicación (TIC), que aparecen como un recurso didáctico para la comunicación y expresión en la organización de la investigación educa-

tiva. Las mismas aportan múltiples ventajas al proceso de enseñanza y aprendizaje que se materializan en aspectos tales como el acceso desde áreas remotas, la ruptura de las barreras espacio-temporales, la posibilidad de interacción con la información y como herramienta de apoyo para el aprendizaje

Bajo este entorno vamos a utilizar Actividades Complementarias no Presenciales (ACNP) para la evaluación de capacidades argumentativas en alumnos regulares de la Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Litoral

OBJETIVO

Tomando como sustento que el aprendizaje puede ocurrir en etapas de complejidad estructural creciente, se propone identificar dificultades argumentativas en alumnos regulares de química general de la Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Litoral, a partir de las respuestas obtenidas en las ACNP.

MUESTRA

Se analizaron los escritos de 113 alumnos de Química General de las carreras de Bioquímica, Licenciatura en Biotecnología, Licenciatura en Saneamiento Ambiental y Licenciatura en Higiene y Seguridad Laboral y Química General e Inorgánica de la Licenciatura en Nutrición de la Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas de la UNL, que participaron de la propuesta

METODOLOGÍA

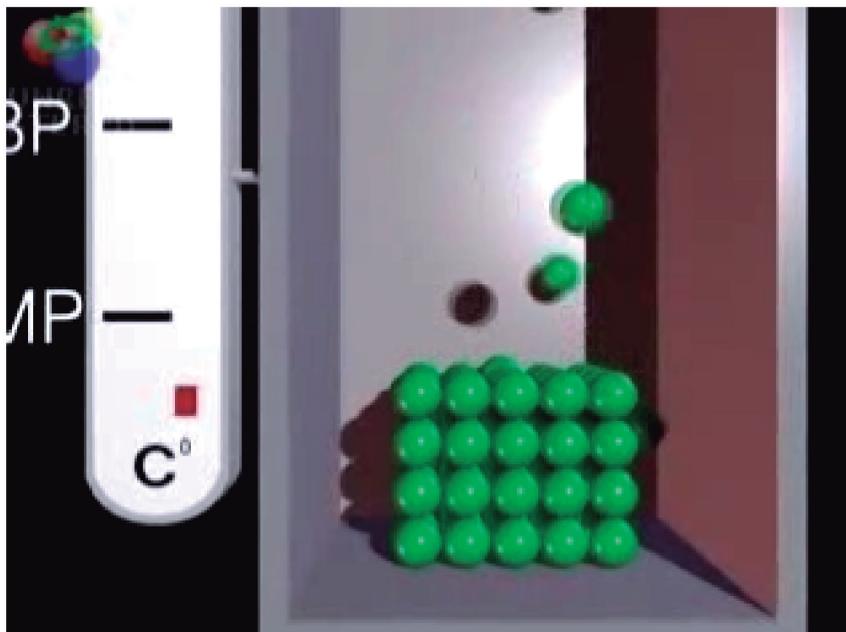
Para evaluar las destrezas argumentativas de los alumnos se utilizó una secuencia de actividades, sobre cambios de estados de agregación de la materia, presente en <http://coloquioliquidos.blogspot.com/> del Departamento de Química General e Inorgánica de la Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas a la cual acceden los alumnos que desean participar del proyecto. La misma, es voluntaria, anónima y no vinculante.

Los participantes debían describir (una vez desarrollados los contenidos conceptuales sobre estados de agregación de la materia) en un informe escrito, lo observado en una simulación sobre los cambios de estado de la materia. El mismo permite un análisis tanto micro, como macroscópico. Se trata de un simulador visual de los cambios de estado y no se recuperan los conceptos explicados en la narrativa (en inglés).

Observa la animación que se muestra a continuación:

- *Elabora un guión en donde vayas explicando lo que se muestra en la animación (procura explicarlo con tus palabras, no traduzcas lo que dice el audio). Ten en cuenta que MP = punto de fusión y BP = punto de ebullición.*

- Enumera las características de cada estado que pueden apreciarse en la representación microscópica mostrada en la animación. ¿Estás de acuerdo con la forma en que se muestran los diferentes estados?



Para el análisis de los resultados, nos basamos en la Taxonomía SOLO acrónimo de Structured of the Observed Learning Outcomes (Biggs y Collins, 1982), que permite clasificar y evaluar el resultado de una tarea de aprendizaje en función de su organización estructural. Podemos por lo tanto, de modo sistemático evaluar cómo los estudiantes crecen en complejidad estructural al llevar a cabo tareas de aprendizaje; haciendo referencia a cinco niveles o enfoques de aprendizajes (procesos cognitivos requeridos para obtener resultados de aprendizaje).

El autor define al enfoque de aprendizaje como “los procesos de aprendizaje que emergen de las percepciones que tiene el estudiante de una tarea académica, en cuanto son influenciadas por sus características personales. Este concepto tiene tanto elementos situacionales como personales”.

TAXONOMÍA SOLO (Niveles)

Aprendizajes superficiales

1. Preestructural Las respuestas son simplemente erróneas o utilizan tautología, que no dan pruebas de un aprendizaje relevante.

2. Uniestructural Las respuestas sólo cumplen con una parte de la tarea, pasa por alto algunos atributos importantes. Estas respuestas se quedan en la terminología, están bien orientadas, pero poco más.

3. Multiestructural En estas respuestas no se aborda la cuestión clave. Esta respuesta si se elabora de manera más completa constituiría lo que llaman "contar conocimientos": apabullar con un montón de datos, pero sin estructurarlos como se debiera. Los estudiantes ven los árboles, pero no el bosque. Ver los árboles es un elemento preliminar necesario para adecuar la comprensión, pero no debe interpretarse como comprender el bosque.

Entendimiento profundo

4. Relacional Los árboles se convierten en el bosque, se produce un cambio cualitativo en el aprendizaje y la comprensión. Ya no se trata de hacer una lista de datos y detalles: abordan un punto, dándole sentido a la luz de su contribución al tema en su conjunto. Éste es el primer nivel en el que puede utilizarse adecuadamente el término "comprensión" en un sentido académicamente relevante.

5. Abstracto ampliado La esencia de la respuesta abstracta ampliada es que trasciende lo dado, mientras que la respuesta relacional se queda en ella. El todo coherente se conceptúa en un nivel superior de abstracción y se aplica a unos campos nuevos y más amplios.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos se expresan en porcentajes

Tabla 1. Porcentajes de niveles SOLO

	SOLO 1	SOLO 2	SOLO 3	SOLO 4	SOLO 5
PORCENTAJES	49,55	38,94	7,96	3,55	0,0

Clasificación de las justificaciones de los alumnos. Los mismos están identificados en forma aleatoria con números. Se transcribe en forma textual lo expresados por los alumnos y se asocian aquellas justificaciones que expresan lo mismo, pero con distinta redacción.

SOLO 1

Alumnos: 4, 8, 32, 53, 61, 85, 105 y 110

- Aumenta la temperatura y aumenta la velocidad con que llega al punto de fusión y de ebullición

Alumno 9

- Fusión: moléculas se desprenden y pasan al líquido.

Alumnos: 5, 25, 44, 95 y 111

- Partículas del líquido se evaporan

Alumnos: 14, 27 y 63

- Moléculas en estado sólido.

Alumnos: 71 y 80

- Evaporación, salen partículas suspendidas

Alumno: 55

- Al aumentar la temperatura el sólido pasa a líquido, que se completa en el punto de fusión

Alumno: 113

- La temperatura decrece, llegan al punto de ebullición, las partículas cambian y se transforman en gas

Alumno 77

- Al aplicar calor el líquido se funde, varía la viscosidad y la tensión superficial

Alumno 18

- Sólido a temperatura constante llega al punto de fusión

Alumnos: 1, 9, 12, 15, 16, 24, 28, 29, 30, 35, 41, 42, 43, 49, 50, 51, 64, 65, 66, 67, 74, 79, 81, 92, 94, 97, 100, 106, 107, 108, 109 y 112

- Solo describen lo que ven en el video (como una película)

Se observa un cuerpo sólido cúbico, con sus moléculas muy juntas. Aumenta el movimiento de las moléculas y se rompe el cubo, las moléculas pasan a líquido y pierden la forma, algunas van pasando a vapor y se escapan por un hueco que tiene el recipiente.

Alumno 2

- Al aumentar la temperatura del sólido se va convirtiendo en líquido

SOLO 2

Alumnos: 3, 6, 10, 11, 17, 19, 23, 26, 31, 33, 34, 47, 57, 58, 59, 69, 72, 73, 86, 88, 93, 101, 102 y 103

- Al aumentar la temperatura, aumenta la energía cinética de las partículas y pasan a otro estado de agregación

Alumnos: 13, 21, 22, 38 y 39

- Al aumentar la temperatura las fuerzas intermoleculares entre las partículas son vencidas y las partículas van al otro estado

Alumnos. 7, 36, 37, 40, 45, 48, 52, 54, 75, 76, 78, 83, 84, 87 y 99

- El aumento de temperatura determina que el sistema cambie de estado: sólido, líquido y vapor. Fusión y vaporización respectivamente, se producen a temperatura constante (Punto de fusión y punto de ebullición)

SOLO 3

Alumnos: 20, 46, 56, 60, 62, 70, 89, 96 y 98

- Al aumentar la temperatura, aumenta la energía cinética de las partículas. Las fuerzas intermoleculares menos intensas permiten mayor libertad de movimiento de las partículas

SOLO 4

Alumnos: 68, 82, 91 y 104

- El aumento de temperatura produce un aumento de la energía de las moléculas; las que pueden vencer las fuerzas intermoleculares escapan al estado siguiente: sólido a líquido a vapor. La libertad de movimiento de las partículas aumenta por la disminución de la intensidad de las fuerzas entre las moléculas.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Estructuralmente, la Taxonomía SOLO se basa en la constatación de que en el proceso de progresión de la incompetencia a la competencia; el aprendizaje se modifica en dos aspectos principales (Biggs y Collins, 1982; Biggs, 1991)

- Incremento Cuantitativo: estructuran componentes de la tarea en niveles de complejidad creciente
- Incremento Cualitativo: relacionan los aspectos más abstractos de la tarea

En este proceso de progresión, los estudiantes resuelven tareas de niveles de complejidad crecientes, permitiendo un conocimiento sólido de la realidad

Biggs (2005), plantea que alguno de los factores que llevan al estudiantado a alcanzar un aprendizaje superficial, son:

- Intención de lograr sólo un aprobado justo, que puede derivarse de una idea de la universidad como un "pase para el futuro" o de la exigencia de matricularse en una asignatura irrelevante para el programa del estudiante;
- Prioridades extraacadémicas que sobrepasan las académicas;
- Tiempo insuficiente, sobrecarga de trabajo;
- Idea errónea de lo que se pide, como creer que el recuerdo de los datos concretos es suficiente
- Ansiedad elevada
- Auténtica incapacidad de comprender los contenidos concretos en un nivel profundo.

Los resultados muestran que el 96,70 % alcanzó un aprendizaje superficial, de los cuales, un 49,16 % es preestructural y el 39,34 % uniestructural. El 3,30 % presenta un entendimiento profundo nivel SOLO 4.

El 49,16 % (SOLO 1) de los alumnos no están preparados conceptualmente para responder a la propuesta

El 39,4 % (SOLO 2) poseen un aspecto relevante, el estudiante posee destreza en identificar, seguir un procedimiento y/o recitar, por ejemplo relacionan:

Aumenta la temperatura del sólido, llega al punto de fusión y cambia de sólido a líquido, a continuación aumenta la temperatura del líquido hasta el punto de ebullición y cambia a vapor, que escapa por el orificio del recipiente.

El aumento de la temperatura produce un aumento de la energía cinética de las partículas favoreciendo el cambio de estado

El aumento de la temperatura, aumenta el movimiento de las partículas que favorece el escape de la fase

Cuando el sólido recibe energía, las moléculas tienen más movimiento y se produce el cambio de estado de la materia

Al aumentar la temperatura, las fuerzas de atracción entre las moléculas son menores y se produce el cambio de estado

El 8,20 % (SOLO 3) hace relación a varios aspectos relevantes pero los considera de forma independiente. Relacionan por un lado temperatura y energía cinética; por otro lado en forma separada fuerzas intermoleculares y libertad de movimiento. No llegan a integrar los conocimientos de los que disponen

El 3,30 % (SOLO 4) presenta un aprendizaje relacional, tiene la capacidad de integrar varias variables en forma coherente y compararlas a medida que se producen las transformaciones. Relacionan temperatura, energía cinética, movimiento de las partículas y fuerzas intermoleculares

CONCLUSIONES

Nuestros resultados muestran que la mayoría de los alumnos (96,70 %) presentan un perfil superficial, caracterizado por centrar la atención en detalles o información específica, intentando enumerar o describir solo aspectos concretos. El 3,30 % están en condiciones de analizar el significado completo de la presentación, integrando los conocimientos en un conjunto coherente, de forma que cada uno de ellos contribuye al todo.

Estos datos muestran un bajo porcentaje de aprendizaje significativo por parte de los alumnos; se puede inferir un aprendizaje memorístico, el que es utilizado para hacer frente a una situación conocida, sin llegar a un análisis profundo de la situación.

El empleo de TIC en la enseñanza de las ciencias ofrecen la posibilidad de que el estudiante deje de ser un mero receptor y se convierta en un sujeto activo, en donde él infiera y, mediante sus competencias científicas y comunicativas, indague, cuestione, analice y cree un conocimiento. El uso de actividades de debate a través de ACNP permite al alumno

trabajar en su tiempo, en forma autónoma.

Debemos presentar al alumnado actividades para que aprenda, se motive e involucre activamente al proceso de enseñanza- aprendizaje. Para corregir los factores anteriores, una propuesta es: elaborar, aplicar y validar actividades de enseñanza complementarias no presenciales (ACNP) para las asignaturas Química General, Química Inorgánica y Química General e Inorgánica de las carreras que se dictan en la Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas que promuevan el desarrollo de capacidades argumentativas en alumnos universitarios, que permitan reelaborar los contenidos desarrollados en clases.

BIBLIOGRAFIA

Biggs, J., Collins, K. F. (1982). *Evaluating the quality of learning: the Solo Taxonomy*. Nueva York: Academic Press.

Biggs, J.B. (1991). Approaches to learning in secondary and tertiary students in Hong Kong: Some comparative studies. *Educational Research Journal*, 6, 27-39.

Biggs, J. (2005). *Calidad del aprendizaje universitario*. Madrid: Nancea Ediciones.

Caamaño, A. (2010) (editor). Argumentar en Ciencias. Un elemento esencial para la educación científica y ciudadanía. *Alambique*, vol. 63.

Informes PISA (2006). Recuperado 13 de abril 2013, de www.pisa.oecd.org/.

Jiménez Aleixandre, M.P.; Bravo, B.; Puig, B. (2009). ¿Cómo aprende el alumnado a evaluar pruebas? *Aula de Innovación Educativa* 186, 10.

Jiménez Aleixandre, M.P. (2010). *10 ideas clave. Competencias en argumentación y uso de pruebas*. Barcelona: Graó.

Jiménez Aleixandre, M.P. y Puig, B. (2010). Argumentación y evaluación de explicaciones causales en ciencias: el caso de la inteligencia. *Alambique* 63, 11.

Knorr-Cetina, K. (1995). Laboratory Studies: the cultural approach to the study of science. En S. Jasanoff, G. Markle, J. Petersen and T. Pinch (Eds.), *Handbook Of Science And Technology Studies* (pp.140-166). Los Angeles: Sage Publications

Latour B y Woolgar, E. (1995). *La vida en el laboratorio. La construcción de los hechos científicos*. Versión española: Eulalia Pérez Sedeño. Madrid: Alianza Universidad SA.

- Perren, M y Odetti, H. (2011). Presión de vapor de líquidos y ebullición: una propuesta de actividades para el aprendizaje. *Educación en la Química*. 17(2), pp 73- 88
- Simon, S., Erduran, S., y Osborne, J. (2006). Learning to Teach Argumentation: Research and development in the science classroom. *International Journal of Science Education* 28, 235.

Ideas para el aula

ENSEÑAR ESTEQUIOMETRÍA CON ANALOGÍAS: DESARROLLO DE UNA SECUENCIA DIDÁCTICA

Andrés Raviolo¹, Gabriela Lerzo¹ y Nancy Piovano²

1. Universidad Nacional de Río Negro. Bariloche. Argentina.

2. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe. Argentina.

E-mail: araviolo@unrn.edu.ar

Resumen. Este artículo tiene como objetivo mostrar el desarrollo de una secuencia de enseñanza con analogías para el tema estequiometría. Sobre la base de las seis etapas propuestas por Glynn se elabora una secuencia no ingenua y fundamentada en reflexiones expresadas por la investigación en didáctica de las ciencias. Esta propuesta apunta a motivar a los estudiantes y diversificar las metodologías frecuentes de enseñanza de la estequiometría. El trabajo con la analogía debería facilitar especialmente la comprensión del significado de reactivo limitante, de las fórmulas químicas y de la ecuación química. Se destaca la expresión del concepto superordinario subyacente de la analogía y la derivación de un procedimiento general para el abordaje de problemas.

Palabras clave: estequiometría, analogías, secuencia didáctica.

Teaching stoichiometry with analogies: the development of a didactic sequence

Abstract. The objective of this article is to show the development of a sequence to teach the subject of stoichiometry with analogies. Based on the six stages proposed by Glynn, a non-naïve sequence is developed, which is founded on reflections arising from research into the teaching of science. This proposal aims to motivate students and diversify the usual approach used to deal with this subject. Working with analogies should facilitate, in particular, understanding of limiting reagent, chemical formulae and equations. Worthy of special note is the expression of the superordinary concept underlying the analogy, and the derivation of a general procedure for dealing with problems.

Key words: stoichiometry, analogies, didactic sequence.

INTRODUCCIÓN

La estequiometría es uno de los conceptos centrales de la química porque se ocupa de los aspectos cuantitativos de la reacción química. Durante su aprendizaje los estudiantes presentan dificultades que van más allá de cuestiones matemáticas, como el dominio de la proporcionalidad (Sanger, 2005). Esto se debe a que la estequiometría aborda las relaciones cuantitativas de la química sobre una base cualitativa, conceptual. Resolver situaciones sobre estequiometría implica la comprensión de varios conceptos como: fórmula química, reacción química, ecuación química.

mica, reactivos y productos, subíndices y coeficientes estequiométricos. Algunos estudiantes mantienen concepciones alternativas luego de la enseñanza, por ejemplo no comprenden las fórmulas químicas en términos de partículas y, aunque ajustan correctamente las ecuaciones químicas, no entienden el significado de los subíndices o de los coeficientes estequiométricos (Yarroch, 1985). Otros afirman que para que se produzca el cambio químico es necesario que los reactivos estén en la situación inicial en una proporción particular (por ejemplo la proporción dada por los coeficientes estequiométricos), dado que se confunde el estado inicial del sistema con el lado izquierdo de la ecuación química (Gauchon y Méheut, 2007).

En cuanto a la enseñanza de la estequiometría no se aprecia mucha diversidad metodológica en su abordaje. Ésta se centra en la resolución de ejercicios con, generalmente, poco trabajo experimental y escaso uso de recursos didácticos. Algunas propuestas alternativas para lograr una mayor motivación de los alumnos incluyen: el planteo de problemas de estequiometría con sustancias de la vida cotidiana de mayor familiaridad para los alumnos (Pinto y León, 2009), el uso de la hoja de cálculo (Raviolo, 2011), etc.

Una alternativa didáctica es emplear estrategias de enseñanza que incluyan analogías, dado que éstas permiten involucrar a los estudiantes desde su conocimiento previo. Una analogía es una comparación de estructuras y/o funciones entre dos dominios (Duit, 1991): un dominio conocido (análogo o análogo base) y un dominio nuevo o parcialmente nuevo de conocimiento (objetivo o análogo meta). Entre ellos se establece un conjunto de relaciones y, además, existen atributos no compartidos que constituyen las limitaciones de la analogía (Oliva et al, 2011).

Raviolo y Lerzo (2014) realizaron una revisión y hallaron múltiples análogos para enseñar estequiometría y en especial reactivo limitante: parejas de baile, ensamble tornillo-tuerca-arandela, ensamble de un auto o bicicleta, sándwiches, frutera, receta de cocina, legos, etc. Encontraron que la presentación de estos análogos es asistemática, descuidada y que no tiene en cuenta las limitaciones propias de su implementación.

Por lo general, en clases de química se observa el empleo de analogías, aunque la presentación de éstas es generalmente superficial y no planificada de acuerdo a premisas sugeridas por la didáctica de las ciencias. A menudo, y en forma espontánea, los docentes recurren a una presentación rápida de alguna analogía para abordar la relación estequiométrica entre dos reactivos o la idea de reactivo limitante. Formulaciones del tipo: "Si en la fiesta hay más hombres que mujeres, habrá hombres

sin pareja que no podrán bailar bajo este contexto. Es decir, quedará un remanente de hombres. Significa entonces que las mujeres limitan el número de parejas que se pueden formar, y que los hombres están en exceso. Lo mismo ocurre cuando quieres preparar hamburguesas con carne, queso y pan. Si no tienes la cantidad suficiente de queso, llegará un momento, cuando el queso se acabe, en el que no podrás hacer más hamburguesas. Te sobrarán panes y carne". Este tipo de presentación llama la atención a los estudiantes y actúa como un introductor previo de acceso a la temática.

A pesar de los cuestionamientos que enuncia la investigación en didáctica de la química sobre el empleo de analogías sobre la estequiometría, éstas se seguirán presentando en las clases (Raviolo y Lerzo, 2014). Es necesario advertir a los docentes sobre las concepciones alternativas que pueden fomentar y recomendar estrategias didácticas adecuadas para su abordaje. El objetivo de este trabajo es ofrecer una propuesta no ingenua que aproveche en profundidad el potencial de la analogía, que siga una metodología sistemática y acordada, que diversifique y enriquezca el proceso de enseñanza. En definitiva, se apunta a brindar una reflexión sobre los beneficios y limitaciones de esta alternativa metodológica que sea de utilidad para los profesores.

SECUENCIA DE ENSEÑANZA

Para el tema de estequiometría consideramos a la analogía del sándwich como una de las más apropiadas por su familiaridad y su versatilidad, dado que permite aumentar gradualmente su complejidad y un buen abordaje de la ecuación química.

Esta analogía admite partir de distintos "formatos" de reactivos (por ejemplo, rodajas de pan individuales P_1 , de paquetes de dos rodajas de pan P_2 , de paquetes de tres rodajas P_3) y obtener distintos productos finales: sándwich simple (J_1P_1), sándwich doble (J_2P_2), etc. Otros análogos no tienen esta versatilidad. Asimismo, la analogía del sándwich de jamón evita el inconveniente que presenta la analogía del sándwich de hamburguesa, ya que el pan de hamburguesa puede confundir dado que es una unidad formada por dos tapas.

Varias secuencias metodológicas se han sugerido para enseñar con analogías, por ejemplo, la secuencia Teaching With Analogies TWA (Glynn, 1991), la guía Foco, Acción y Reflexión FAR (Harrison y Coll, 2008) y el Decálogo para enseñar con analogías (Raviolo y Garritz, 2007). En este trabajo desarrollaremos la secuencia TWA, que consta de seis pasos: (1) introducir el concepto objetivo; (2) Presentar el concepto análogo; (3) identificar características relevantes del objetivo y del análogo; (4) establecer las correspondencias de similitudes (transferir y aplicar); (5) indicar las limitaciones de la analogía, y (6) sacar conclusiones. Esta

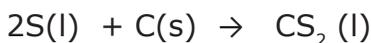
secuencia se ha utilizado por ejemplo para presentar la analogía del calendario para la tabla periódica (Oliva, 2011).

La efectividad de una analogía estará dada por el conocimiento de los atributos del análogo, el aprovechamiento que pueda hacerse de los atributos compartidos para comprender el objetivo, la profundidad de las conclusiones que se obtengan y las reflexiones metacognitivas realizadas.

(1) Introducir el concepto objetivo

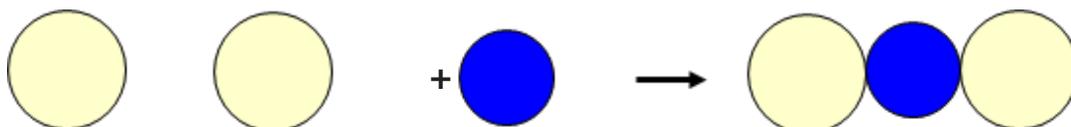
La estequiometría se ocupa de los aspectos cuantitativos de la reacción química y da respuesta a preguntas como: ¿Cuántos gramos de disulfuro de carbono se pueden obtener a partir de 100 gramos de carbono y suficiente azufre? ¿Cuántos átomos de carbono se requieren para formar 200 moléculas de disulfuro de carbono?

El disulfuro de carbono (CS_2), también llamado sulfuro de carbono, es un líquido volátil, incoloro y muy inflamable. Es un buen disolvente de sustancias no polares como azufre, yodo, ceras y caucho. Se forma a alta temperatura a partir de azufre líquido y carbono sólido, según la siguiente reacción química (Chang, 2010, pág. 938):



Al igual que en la propuesta de Last (1983) para la reacción $\text{C}(\text{s}) + 2\text{S}(\text{g}) \rightarrow \text{CS}_2(\text{g})$, se asumen condiciones de reacción tales que el azufre se considera como monoatómico.

La sustancia azufre y la sustancia carbono son los *reactivos* y la sustancia disulfuro de carbono es el *producto* de la reacción. Si se interpreta esta reacción desde el nivel submicroscópico, las partículas características de los reactivos son átomos (átomos de azufre y de carbono) y la partícula característica del producto es una molécula (molécula de disulfuro de carbono). Una representación de la ecuación química utilizando representaciones de partículas podría ser:



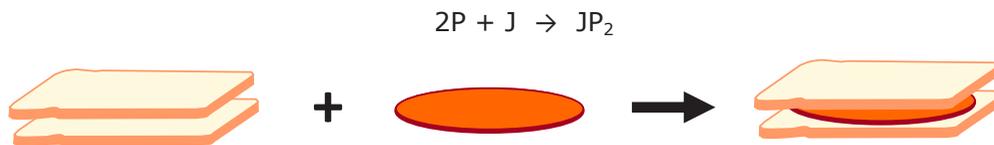
De la ecuación química ajustada se desprenden relaciones fijas entre las especies: 2 átomos de azufre reaccionan con un átomo de carbono para formar una molécula de disulfuro de carbono.

(2) Presentación del concepto análogo

En esta etapa se presenta (activa, recuerda) el concepto análogo.

Vamos a explicar el significado de estas representaciones simbólicas

(fórmulas químicas y ecuación química) a partir de la analogía de la preparación de un sándwich: dos rodajas de pan y una feta de jamón forman un sándwich de jamón:



Las unidades P y J se reagrupan para formar la unidad JP_2 o sándwich. El sándwich constituye una nueva entidad distinta al pan y al jamón. En esa ecuación se aprecia que para formar un sándwich se cumple la relación 2 a 1 ($2P$ a $1J$). Esta relación de cantidades nos permite hacer cálculos "estequiométricos".

En esta parte de la secuencia, pueden formularse preguntas como:

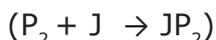
- (1) *¿Cuántas rodajas de pan se necesitan para 8 fetas de jamón?*
- (2) *¿Cuántos sándwiches se pueden preparar con 10 rodajas de pan y 5 rodajas de jamón?*

En la segunda pregunta, en la relación de cantidades, se aprecia que no sobran ni pan ni jamón, lo que constituye una situación "estequiométrica".

- (3) *¿Cuántos sándwiches se pueden preparar con 18 rodajas de pan y 12 fetas de jamón?*

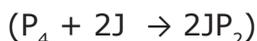
En este caso se forman 9 sándwiches y sobran 3 fetas de jamón. El pan es el "reactivo limitante" y el jamón "es el reactivo en exceso".

- (4) *¿Qué ocurrirá si los panes vienen en paquetes de dos rodajas? ¿Cuál es la "ecuación química"?*



- (5) *¿Cuántos sándwiches se pueden preparar con 8 paquetes de pan (de 2 rodajas c/u) y suficiente jamón?*

(6) Para la preparación de sándwich JP_2 , escribir la ecuación química si el pan viene en paquetes de 4 rodajas y el jamón en fetas individuales.



En este caso los reactivos son P_4 y J, y el producto JP_2 . Para que se cumpla la conservación de la masa, se tuvo que "ajustar" la ecuación para que queden la misma cantidad de rodajas de pan y fetas de jamón de cada lado. Se puede apreciar que en todos los casos, ya sea partiendo de paquetes de dos o de cuatro rodajas de pan, el "producto" sándwich siempre es el mismo.

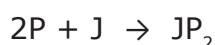
(3) Identificar características relevantes del objetivo y del análogo

En esta etapa se intenta identificar qué tienen en común el análogo y el objetivo.

Se destaca que JP_2 constituye la "fórmula" de la unidad llamada sándwich, formada por dos rodajas de pan y una feta de jamón. De la misma manera, CS_2 constituye la fórmula molecular de la molécula de disulfuro de carbono, formada por dos átomos de azufre y uno de carbono.

La definición de reacción química (para sustancias moleculares) nos indica que es un proceso en el cual los átomos que constituyen las moléculas (de los reactivos) se reagrupan de manera distinta formando nuevas moléculas (los productos). En esta reacción de síntesis, los átomos (de las sustancias elementales iniciales) se agrupan formando moléculas (del compuesto final). En el análogo, las unidades P y J se agrupan para formar la unidad JP_2 o sándwich. El sándwich constituye una nueva entidad distinta al pan y al jamón.

Esta discusión incluye: concepto de ecuación química, como representación del cambio químico, diferencia entre reactivos y productos, entre coeficientes y subíndices, entre átomo y molécula. La ecuación química es una forma abreviada y estándar de representar a una reacción química. Por lo tanto, la ecuación "química" del proceso de formación de un sándwich es:



- Identificar en la ecuación anterior los coeficientes estequiométricos y los subíndices.

(4) Establecer las correspondencias de similitudes

En esta etapa se establecen las correspondencias entre los elementos (atributos, funciones) del análogo y del objetivo.

Correspondencias: (en el simbolismo y en la proporción)

Análogo	Objetivo
$2P + J \rightarrow JP_2$	$2S + C \rightarrow CS_2$
P = rodaja de pan	S = átomo de azufre
$2P = 2$ rodajas de pan	$2S = 2$ átomos de azufre
J = feta de jamón	C = átomo de carbono
$2J = 2$ fetas de jamón	$2C = 2$ átomos de carbono
$JP_2 =$ un sándwich de jamón	$CS_2 =$ molécula de disulfuro de carbono
$2JP_2 = 2$ sándwiches	$2CS_2 = 2$ moléculas de disulfuro de carbono
relación 2 P a 1 J	relación 2 átomos de S a 1 átomo de C

Con el fin de que haya conexión con las preguntas realizadas en la etapa 2, y para seguir un paralelismo entre análogo y objetivo, se formulan 6 preguntas equivalentes:

(1) *Para la formación de disulfuro de carbono ¿Cuántos átomos de S se necesitan para combinarse con 10 átomos de carbono?*

(2) *¿Cuántas moléculas de disulfuro de carbono se obtienen con 20 átomos de azufre y 10 átomos de carbono?*

(3) *¿Cuántas moléculas de disulfuro de carbono se obtienen con 24 átomos de azufre y 17 átomos de carbono?*

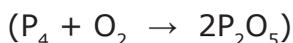
En esta instancia se puede seguir trabajando con otras ecuaciones, que también pueden ser propuestas por los alumnos partiendo de reactivos con distinta atomicidad. Como ejemplos, se pueden ejercitar los siguientes:

(4) *¿Cuál es la ecuación química para la síntesis del dióxido de azufre en condiciones en las que el azufre se presenta monoatómico y la molécula de oxígeno diatómica?*



(5) *¿Cuántas moléculas de dióxido de azufre se forman a partir de 25 moléculas de oxígeno y suficiente azufre?*

(6) *El fósforo (tetraatómico) reacciona con el oxígeno (diatómico) para formar P_2O_5 . Escribir la ecuación química ajustada correspondiente.*



Como puede observarse, esta etapa incluye actividades de transferencia y aplicación, procesos que pueden corroborarse con múltiples ejercicios que permitan verificar si los alumnos no están resolviendo "mecánicamente". En ese sentido, algunas sugerencias útiles son:

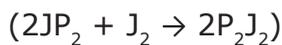
- *Leer la siguiente ecuación química diferenciando los conceptos de: reactivos y productos; átomo y molécula; coeficiente y subíndice. La molécula de fósforo (P) es tetraatómica.*



- *Completar la tabla siguiente con el análogo. Siendo P: rodaja de pan, J: feta de jamón y JP_2 el sándwich.*

orden	análogo	objetivo
1	$2P + J \rightarrow JP_2$	$2S + C \rightarrow CS_2$
2		$O_2 + C \rightarrow CO_2$
3		$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$
4		$4O_3 + 3N_2 \rightarrow 6NO_2$

- Suponer que ahora se desean preparar sándwiches con dos fetas de jamón, su fórmula sería P_2J_2 ; P = rodaja de pan y J = feta de jamón. Los sándwiches dobles se prepararán desarmando los simples (JP_2) y combinándolos con paquetes de dos fetas de jamón. ¿Cuál será la "ecuación química" de este proceso?



A partir de esta "ecuación" pueden realizarse preguntas del tipo:

- ¿Cuántos sándwiches dobles de jamón se pueden hacer a partir de 12 sándwiches simples y 5 paquetes de dos fetas de jamón?

- El proceso anterior es análogo a la reacción entre el agua (H_2O) y el oxígeno (O_2) para producir peróxido de hidrógeno (agua oxigenada: H_2O_2) Escribe la ecuación química de esta reacción.

(5) Indicar las limitaciones de la analogía

En esta etapa se explicitan las limitaciones (o no correspondencias) de la analogía, es decir dónde la analogía falla. A nuestro criterio las limitaciones más importantes de la analogía del sándwich son:

- El pan y el jamón no reaccionan. No hay fuerzas o "uniones químicas" que mantengan unidas a las rodajas de pan entre sí, ni al pan con el jamón. Tampoco hay ruptura y recombinación de enlaces como se requiere para toda reacción química.
- En el análogo, con dos rodajas de pan y una feta de jamón se prepara un sándwich de jamón y con una bolsa de dos rodajas de pan y una feta de jamón también. El ingrediente pan es la misma especie (solo cambia el envase) y se obtiene el mismo producto. En cambio en el objetivo, el cambio de la atomicidad significa un cambio de especie, un cambio de sustancia. Por ejemplo, la sustancia oxígeno (O_2) no es la misma que el ozono (O_3).

Si se profundiza en las relaciones estequiométricas que pueden construirse a partir de la analogía, se presenta otra limitación cuando se prepara una sándwich con una bolsa de 4 rodajas de pan y una feta de jamón, ya que se puede hacer un sándwich y sobrarían dos rodajas de pan. Esto podría representarse como: $(P_4 + J \rightarrow JP_2 + 2P)$. Esta no es la ecuación química correcta. La ecuación química representa la relación más simple entre reactivos y productos, empleando números enteros y sin expresar cantidades en exceso. La ecuación "química" correcta es: $(P_4 + 2J \rightarrow 2JP_2)$. Empleando la ecuación química se analizan las cantidades iniciales y se determina si están en proporción estequiométrica o si hay algún reactivo limitante. De la misma manera con una molécula de hidrógeno y una molécula de oxígeno se puede formar una molécula de agua y sobra un átomo de oxígeno ($H_2 + O_2 \rightarrow H_2O + O$). Esta no es

la ecuación química y deben evitarse escribir ecuaciones de este tipo. Además, en este caso en particular, el producto O atómico no existe.

(6) Sacar conclusiones.

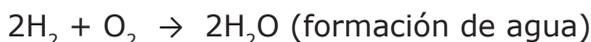
El propósito de emplear la analogía es aprovechar las relaciones establecidas entre análogo y objetivo para mejorar la comprensión del objetivo. Esta comprensión debería ser útil para realizar predicciones correctas ante nuevas situaciones.

Generalmente, con el tratamiento superficial de las analogías, no se suele dedicar tiempo a "cerrar" una actividad con ellas, a sacar provecho didáctico reconstruyendo lo realizado y extrayendo conclusiones conceptuales. Esto es en gran medida una actividad metacognitiva.

El análogo es apropiado por las correspondencias que se pueden establecer, como las relacionadas con el simbolismo, la relación proporcional y los conceptos de reactivo limitante y en exceso pero también resulta de utilidad cuando se analizan sus limitaciones

Sacar conclusiones de la analogía empleada en este trabajo conlleva varios procesos, uno de ellos, el más simple e inmediato, está relacionado con la proporción entre reactivos o la idea de un reactivo que se agota en la reacción química. Otros procesos requieren aún mayor abstracción porque consisten en extraer el concepto superordinario (Duit, 1991), el modelo o estructura que subyace entre el análogo y el objetivo. Poner en palabras "lo común" no es una actividad sencilla dado que se trata de expresar un concepto abstracto, la esencia de la comparación analógica.

Abstraer a partir de la analogía presentada va más allá de identificar la relación proporcional estequiométrica puesto que este ejercicio también se vincula con la comprensión de la ecuación química. Considerando por ejemplo las siguientes ecuaciones químicas y ecuaciones análogas:



En estos ejemplos, subyace la idea de que las ecuaciones constituyen expresiones de igualdad en la que cada tipo de unidad (J, P; O, H) se encuentra en igual número de cada lado de la ecuación. Estas unidades pueden encontrarse formando parte de entidades que tienen una composición definida (JP_2 ; H_2O). Una vez establecida la igualdad (ajustada la ecuación química), se pueden plantear además relaciones cuantitativas entre las entidades expresadas en la misma.

Si bien esta propuesta hace hincapié en seguir una secuencia de ense-

ñanza con analogías, puede ocurrir también que algún estudiante logre determinar el reactivo limitante y en exceso e incluso hallar la cantidad de éste último, sin necesidad de partir de la ecuación química, siguiendo otros razonamientos, como por ejemplo analizando la fórmula del producto en reacciones de síntesis. Por ello, y como conclusión adicional del trabajo realizado con analogías, se generaliza y propone un procedimiento para abordar preguntas o problemas de estequiometría. Se trata de una regla, que se espera que actúe como control metacognitivo, es decir, su finalidad es que los alumnos reflexionen y tomen conciencia sobre los nuevos conceptos que incorporaron y las dificultades que surgieron durante su aprendizaje. Los pasos sugeridos son:

1. identificar las sustancias que participan, reactivos y productos
2. escribir sus fórmulas químicas (notar que no cambian cuando se ajusta la ecuación)
3. ajustar la ecuación química (verificar la igualdad de unidades en cada lado)
4. resolver las situaciones a partir de la ecuación química ajustada, planteando relaciones entre dos especies involucradas

Las distintas situaciones, con diferentes cantidades iniciales de reactivos, se analizan desde la ecuación química única, en la que no debe figurar como producto la sustancia que está en exceso.

En esta etapa el docente promueve la explicitación de las conclusiones propias de los estudiantes, la puesta en común de las mismas y presenta para su discusión las conclusiones expresadas en este apartado, referidas al concepto superordinario y al procedimiento a seguir.

DISCUSIÓN

Con el objetivo de trabajar con relaciones estequiométricas con unidades de masa (gramos y moles) también suelen utilizarse ejemplos de analogías como la siguiente:

- Para la preparación del sándwich simple $2P + J \rightarrow JP_2$, si una rodaja de pan pesa 20 gramos y un feta de jamón pesa 15 gramos, ¿cuántos sándwiches se pueden hacer con 600 gramos de pan y 300 gramos de jamón? ¿qué faltó? ¿qué sobró?

Un ejemplo con una reacción química, puede ser:

- ¿Cuántos gramos de disulfuro de carbono se formarán si se mezclan 450 gramos de azufre con 60 gramos de carbono? ¿Cuál es el reactivo limitante y cuál es el reactivo en exceso? ¿Qué cantidad de reactivo hay en exceso?

Incluir cálculos con moles y gramos conlleva a una serie de reflexiones

y la mención de una de las principales limitaciones que tiene esta analogía. Esta limitación deriva del hecho de que la ecuación química puede leerse en términos microscópicos (sub micro) o macroscópicos (macro), es decir, en términos de átomos y moléculas (para las sustancias moleculares) y en términos de moles (o su equivalente en gramos), respectivamente. En cambio, con el análogo no puede cumplirse con esta doble lectura de la ecuación. En la ecuación química, para pasar de un nivel a otro, es decir, del nivel sub micro al macro, es necesario considerar un número muy grande de partículas, el número de Avogadro ($6,022 \times 10^{23}$ partículas/ mol). En el análogo la imagen de un sándwich se corresponde con la de una molécula, sin embargo se asume que el sándwich pesa como la masa molar. Esto puede inducir a pensar erróneamente que una partícula (átomo, molécula, ion) pesa la masa molar ("un átomo de carbono tiene una masa de 12 gramos", "una molécula de hidrógeno tiene una masa de 2 gramos").

Teniendo en cuenta esta limitación, al emplear este tipo de analogías se recomienda no incluir cálculos en moles y/o gramos, lo que limita la utilidad de las mismas, o bien realizar un planteo analógico como el que se desarrolla a continuación.

Si el número de Avogadro es el puente entre lo submicro y lo macro, se puede utilizar el camino análogo a partir de la metáfora "el mol es la docena del químico". De este modo, se plantea la situación en que los insumos para preparar sándwiches se compran en un almacén mayorista "todo por docena", en donde se pueden adquirir por docenas rodajas individuales o paquetes de dos, tres o cuatro unidades. Los planteos deben hacer hincapié en la lectura de los coeficientes de la ecuación análoga como números de docenas.

Aunque esta analogía de la docena podría reforzar la idea errónea del concepto de mol que lo considera como un número y no como cantidad de sustancia, en el contexto de esta secuencia didáctica introductoria resulta muy útil. Abordando el planteo con esta metodología quedaría entonces:

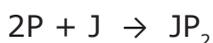
- ¿Cuántas docenas de sándwiches simples se pueden formar con 10 docenas de paquetes de cuatro rodajas de pan y 15 docenas de paquetes de dos fetas de jamón?

A partir de la ecuación $P_4 + J_2 \rightarrow 2JP_2$ se infiere que una docena de P_4 se combina con una docena de J_2 .

Esta situación puede servir de punto de partida para trabajar con cantidades de sustancia (moles) en la siguiente reacción química:

- ¿Cuántos moles de disulfuro de carbono se pueden formar con 10 moles de carbono y 12 moles de azufre?

Posteriormente, pueden presentarse otros problemas donde se le asignan las masas a las docenas. Por ejemplo, para la preparación:



- ¿Qué masa de sándwiches JP_2 se pueden obtener si se cuenta con 720 gramos de pan y 300 gramos de jamón? La docena de rodajas de pan pesa 240 g, la docena de fetas de jamón pesa 180 g, la docena de sándwiches simples pesa 660 g.

El planteo para su resolución parte de la siguiente relación: 2 docenas de P es a 1 docena de J o bien en masas, 480 g de P es a 180 g de J. De allí se deduce cuál es el reactivo limitante y cuál está en exceso. Siendo el pan el reactivo limitante, el razonamiento puede continuar de la siguiente manera: 2 docenas de pan producen 1 docena de sándwiches, 480 g de pan producen 660 g de sándwiches; 720 g de pan producirán entonces 990 g de sándwiches.

Análogamente, para el caso de la reacción de obtención del disulfuro de carbono será:

- ¿Cuántos gramos de disulfuro de carbono se pueden obtener con 640 g de azufre y 150 g de carbono? La masa molar del S es 32 g/mol, la masa molar del C es 12 g/mol y la masa molar de CS_2 es 76 g/mol.

Este abordaje de la analogía puede resultar algo forzado, más aún si previo a ello no se introdujo un procedimiento que permita consolidar la resolución de situaciones desde la ecuación química o desde la ecuación análoga, respectivamente. A pesar de ello, en esta instancia, y con ejemplos como los mencionados, es muy oportuno generar el debate sobre conceptos clave como: diferencia entre masas atómicas y masas molares, números de átomos y de moles, etc.

CONCLUSIONES

En este artículo se presentó un desarrollo, no ingenuo y basado en señalamientos realizados por la investigación en didáctica de las ciencias, para enseñar algunos conceptos del tema estequiometría empleando analogías. Para ello se seleccionó un análogo accesible, en cuanto al nivel de abstracción y familiaridad con el mismo, no perdiendo de vista que una presentación superficial o no sistemática con analogías, sin un encuadre metodológico adecuado, tanto de profesores como de autores de textos, puede promover concepciones erróneas.

La propuesta pretende diversificar la metodología frecuente, basada exclusivamente en la resolución de ejercicios, y lograr motivación en los alumnos.

El trabajo con la analogía se debe orientar a facilitar, especialmente, la

comprensión profunda del significado de las fórmulas químicas y de la ecuación química. Como se señaló en el ejemplo de la preparación del sándwich simple, ($2P + J \rightarrow P_2J$), como análogo de la reacción ($2S + C \rightarrow CS_2$). Lo importante además es discutir la diferencia entre reactivos y productos, entre coeficientes y subíndices, entre átomos y moléculas, como así también de la proporción estequiométrica 2 a 1. La versatilidad del análogo seleccionado permite el planteo de situaciones donde los panes pueden presentarse en bolsitas de dos o más, dando lugar a distintas relaciones estequiométricas entre los reactivos.

El hecho de que la representación simbólica del fenómeno, la ecuación química, pueda interpretarse desde los otros dos niveles, el submicro y el macro (tal como lo hacen todos los textos universitarios consultados), le suma complejidad a la temática. En todos los casos es necesario discutir con mucha profundidad las limitaciones que tiene la analogía en este aspecto y a las confusiones que podría inducir.

El valor de la secuencia está en la identificación de los atributos compartidos del análogo, en el establecimiento de las correspondencias para comprender el objetivo, en el paralelismo (análogo –objetivo) para la formulación de problemas, en la reflexión sobre los atributos no compartidos y, fundamentalmente, en la profundización y explicación de las conclusiones que se obtienen. Se pone especial énfasis en la expresión del concepto superordinario subyacente (que incluye al análogo y al objetivo como subordinados) y en la formalización de un procedimiento general para abordar los problemas, en el que las distintas situaciones, con diferentes cantidades iniciales de reactivos, se analizan desde la ecuación química única.

La presentación de cuadros con las correspondencias, como el mostrado en la etapa 4, junto con imágenes del análogo y del objetivo, pueden ayudar a disminuir la sobrecarga en la demanda cognitiva que producen los razonamientos analógicos complejos. Otras reflexiones metacognitivas también pueden contribuir en este proceso de aprendizaje, como la toma de conciencia de que se está empleando una analogía, el conocimiento sobre la naturaleza del pensamiento analógico y las posibilidades de optimizarlo, la existencia de correspondencias/ limitaciones y la necesidad de exteriorización permanente de conclusiones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chang, R. (2010). *Química*. 10^o edición. Mc Graw Hill: México.
- Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science, *Science Education*, 75(6), 649-672.

- Gauchon, L y Méheut, M. (2007). Learning about stoichiometry: from students' preconceptions to the concept of limiting reactant. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(4), 362-375.
- Glynn, S. (1991). Explaining science concepts: a teaching with analogies model. En Glynn y otros (eds.). *The psychology of learning science*, Hillsdale, Erlbaum.
- Harrison, A. y Coll, R. (eds.) (2008). *Using analogies in middle and secondary science classrooms*, California, Corwin Press.
- Last, A. (1983). A bloody nose, the hairdresser's salon, flies in an elevator, and dancing couples: the use of analogies in teaching introductory chemistry. *Journal of Chemical Education*, 60(9), 748-750.
- Oliva, J. M. (2011). Cómo usar analogías en la enseñanza de modelos y de los procesos de modelización en ciencias. *Alambique*, 69, 80-91.
- Pinto, G. y León, S. (2009). Estequiometría i vida cotidiana. *EduQ*, 3, 29-36.
- Raviolo, A. (2011). TICs y enseñanza de la química: estequiometría con la barra de desplazamiento. *Educación en la Química*, 17(2), 101-110.
- Raviolo, A. y Garritz, A. (2007). Uso de analogías en la enseñanza de la química: necesidad de elaborar decálogos e inventarios. *Alambique*, 51, 28-39.
- Raviolo, A. y Lerzo, G. (2014). Analogías en la enseñanza de la estequiometría: revisión de páginas web. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, en prensa.
- Sanger, M. (2005). Evaluating students' conceptual understanding of balanced equations and stoichiometric ratios using particulate drawing. *Journal of Chemical Education*, 82(1), 131-134.
- Yarroch, W. (1985). Student understanding of chemical equation balancing. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(5), 449-459.

De interés

PUESTA A PRUEBA DE UNA UNIDAD DIDÁCTICA DENTRO DEL ENFOQUE DE QUÍMICA EN CONTEXTO

Martín Pérgola, Lydia Galagovsky

Instituto Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Argentina.

martinpergola@gmail.com, lyrgala@qo.fcen.uba.ar

Resumen. La propuesta didáctica que se presenta en este trabajo consiste en la enseñanza contextualizada de parte de la compleja temática sobre aspectos químicos y fisiológicos de drogas medicinales, legales e ilegales. La actividad fue desarrollada con estudiantes de dieciséis y diecisiete años que cursan por primera vez la asignatura Química en una escuela secundaria de gestión privada de la Ciudad de Buenos Aires. El curso pertenecía a una orientación en Tecnologías de la Información y la Comunicación. Los resultados de la propuesta didáctica fueron muy positivos en relación a la motivación de los estudiantes, y de su manifiesto interés por la realización de actividades autorreguladas

Palabras clave: TIC, Química en Contexto, Drogas, Metacognición.

Experimental testing of a unit focus in chemistry in context

Abstract. A contextualized approach on chemical aspects and physiological effects of legal and illegal drugs is presented in this article. The teaching proposal was developed with students from sixteen and seventeen years old doing their first chemistry course at a private secondary school in Buenos Aires City. The course was ICT (Information on Technology and Communication)-oriented. The positive results included students' motivation and their interest in carrying out self-regulated activities was evidenced.

Key words: ICT, Chemistry in Context, Drugs, Metacognition.

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El presente trabajo es parte de una investigación educativa sobre la perspectiva de lograr motivación en clases de química, mediante el abordaje de un enfoque de enseñanza contextualizada. Se eligió trabajar contenidos relacionados con los aspectos químicos y fisiológicos de drogas medicinales legales e ilegales.

La unidad didáctica fue puesta en práctica con alumnos de dieciséis y diecisiete años, pertenecientes a un cuarto año de una escuela de gestión privada, de la Ciudad de Buenos Aires. El curso pertenecía a una orientación en Tecnologías de la Información y la Comunicación. Esta orientación consiste en un ciclo de seis años: los primeros tres

años corresponden a un ciclo básico general, común al resto de las orientaciones; los tres últimos años corresponden a la especialización, donde cursan materias relacionadas con informática, TIC y programación.

Los alumnos poseían conocimientos básicos de lenguajes de programación y desarrollo de programas de computadora.

La experiencia consistió en un proyecto de fin de curso de la asignatura Química. Los objetivos principales fueron dos:

Primero, finalizar el año lectivo de la única asignatura química del Plan de Estudios con algún tema motivante, dentro del enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad-Ambiente (Caamaño, 2011).

Segundo, que los estudiantes pudieran realizar una experiencia de aprendizaje autorregulado, capitalizando sus conocimientos sobre programación.

La consigna principal fue realizar una aplicación informática interactiva cuyo objetivo fuera divulgar contenidos del tema elegido a otros compañeros de edad similar. También, para completar la unidad didáctica, debían generar un informe escrito y realizar una presentación grupal de la aplicación –dispositivo TIC- construida. La bibliografía básica de referencia que se usó como fuente primaria de información fue el artículo de divulgación “¿Evitar el dolor? ¿Búsqueda de una falsa y efímera felicidad?... Drogas de uso y abuso” (Wolansky, Rosetti, 2011).

La evaluación fue tanto grupal como individual, según se detallará más adelante.

Los objetivos de toda la actividad fueron: por un lado, detectar actitudes de los estudiantes –generalmente apáticos en las horas de química- frente a la propuesta de tareas autorreguladas y realizadas en equipo. Por otro lado, poner en evidencia sus competencias para la realización de una tarea original y desafiante. Finalmente, se quiso poner en evidencia la motivación particular que suscitó esta unidad didáctica con respecto de las previamente desarrolladas durante el año lectivo.

El tiempo total destinado a esta propuesta didáctica fue de 10 clases de 80 minutos cada una. Dado que la asignatura tiene dos clases por semana, el trabajo completo demandó cinco semanas.

Los resultados de la propuesta didáctica fueron altamente satisfactorios, tal como se analizará más adelante.

FUNDAMENTACIÓN DE LA EXPERIENCIA EDUCATIVA

La motivación durante las clases de química

Numerosas investigaciones plantean la falta de entusiasmo, de interés e, inclusive, de rechazo manifiesto hacia la disciplina escolar química. Esta problemática no se presenta exclusivamente en la Argentina, sino que tiene un alcance internacional, al igual que la baja matrícula en carreras universitarias o terciarias con base en la química (Galagovsky, 2012). El desinterés es aún más notorio en estudiantes de secundaria que no cursan orientaciones relacionadas con las Ciencias Naturales (Galagovsky, Lacolla y Di Giacomo, 2012).

Asimismo, numerosas investigaciones señalan la falta de motivación como uno de los principales problemas en los procesos de aprendizaje en la educación formal, de donde se concluye que si hay ausencia de motivación no hay aprendizaje (Pozo, 1997).

En un reporte sobre la enseñanza de las ciencias en Europa, Osborne y Dillon (2008) señalan que las cuestiones de salud resultan particularmente motivantes para las niñas de 15-16 años de los veinte países indagados en el Proyecto ROSE. Particularmente, Galagovsky, Lacolla y Di Giacomo (2012) detectaron que uno de los temas que motivan a los jóvenes que cursan la escuela secundaria es el tema del uso y abuso de drogas.

Este motivo, sumado a las recomendaciones de incluir transversalmente herramientas de TIC en las distintas disciplinas de la escuela secundaria, y de fomentar la motivación favoreciendo que los estudiantes generen expresiones artísticas sobre temas de ciencia (Galagovsky, 2005; Lerman, 2005; Bekerman y Galagovsky, 2006), nos llevó a planificar la unidad didáctica sobre el tema de drogas de uso y abuso, aplicarla en una situación real para analizar sus alcances u obstáculos.

El material bibliográfico de referencia

Para llevar adelante la unidad didáctica se requería contar con un material bibliográfico de divulgación científica que sirviera como iniciador y orientador. El material usado fue un artículo de divulgación científica sobre drogas de uso y abuso (DUA) (Wolansky, Rosetti, 2011), que describe con un lenguaje adecuado y con relatos contextualizados los principales efectos de diferentes tipos de drogas en el sistema nervioso, sus características físicas y químicas, las formas de consumo y los riesgos que generan sobre el organismo humano. Así mismo, si bien la información del artículo incluye fórmulas químicas de las drogas mencionadas, el énfasis del capítulo está puesto en el desafío que enfrentan los químicos que investigan en el área. Con este material buscamos que los estudiantes tuvieran una base de lectura conceptual de calidad sobre la

cual podrían ampliar la información mediante otros textos o búsquedas en la web.

La enseñanza contextualizada con actividades centradas en los alumnos

La modalidad de enseñanza tuvo un enfoque de trabajo de tipo colaborativo, autorregulado, centrado en los estudiantes. Dado que el tema DUA no había sido abordado previamente como contenido escolar, pero se trata de una temática cuya circulación cotidiana es evidente, resultaba fundamental comenzar por indagar representaciones mentales de los estudiantes. Tal como sugiere Talanquer (2011): *"muchas ideas erróneas de los estudiantes se originan en sus suposiciones implícitas sobre la naturaleza de las cosas, entonces debemos crear oportunidades para discutir estas ideas en el aula y ayudar a los estudiantes a analizar sus alcances y limitaciones. (...) actividades colaborativas de modelización de sistemas y procesos es una estrategia efectiva en esta área"*.

Considerando los prejuicios que el tema DUA puede conllevar -tanto por parte de estudiantes como de docentes- resultó fundamental generar un clima apropiado en el aula. Básicamente, debió quedar bien establecido el carácter científico de las lecturas y, al mismo tiempo, la posibilidad de expresión más lúdica o artística en las producciones finales de cada grupo de estudiantes (Lerman, 2005). Coincidimos con Bolte, Streller y Hofstein (2013) cuando señalan que *"(...) Los profesores pueden aumentar la motivación para aprender mediante la combinación de esos temas en contextos relevantes y con actividades atractivas."*

La consistencia con los lineamientos curriculares

Numerosas investigaciones recientes, tanto como los nuevos diseños curriculares de Provincia de Buenos Aires y CABA y los Núcleos de Aprendizaje Prioritarios (NAPs) del Ministerio de Educación de la Nación, recomiendan el uso de herramientas de TIC en las clases. Particularmente, en los NAPs se recomienda generar situaciones de aprendizaje donde se promueva *"El uso de las TIC como estrategia de apropiación de saberes, de acceso a la información, de participación en debates y de comunicación de producciones en diferentes lenguajes y en formas variadas de representación, en el marco de la actividad científica escolar; la identificación e implicación en problemas científicos actuales de relevancia social y significativos para los estudiantes, como los vinculados al ambiente y la salud, utilizando conocimientos científicos a partir de una reflexión crítica y un abordaje propositivo."* (NAPs, 2012).

Así mismo, la propuesta didáctica tuvo un claro enfoque interdisciplinario, considerando que los contenidos estarían relacionados con materias como biología o educación ciudadana. Este punto también coincide con orientaciones extraídas de los NAPs y del Diseño Curricular de la Nueva

Escuela Secundaria de la Ciudad de Buenos Aires (http://www.me.gov.ar/consejo/resoluciones/res12/180-12_02.pdf).

Finalmente, las TIC que se usan generalmente en el aula son herramientas diseñadas por expertos y su eventual puesta en práctica en el aula suele estar fuertemente regulada por los docentes (Dori, Rodrigues, Schanze, 2013). En esta investigación, los propios estudiantes debieron diseñar y desarrollar sus herramientas TIC. Es decir, dado que ellos ya habían adquirido –por la orientación de sus trayectos educativos- capacidades de diseño y programación, la consigna se basó en que pudieran aplicar dichas competencias de manera creativa, en las clases de química.

METODOLOGÍA

Consignas y uso de TIC

Durante el transcurso del año los temas de química fueron los tradicionales: 1) teoría cinético molecular y comportamiento submicroscópico de la materia; 2) leyes de los gases y gases ideales; 3) soluciones, disoluciones y concentraciones; 4) sistemas materiales; 5) modelos atómicos. La metodología de enseñanza seguida en dichas clases había sido una secuencia de clase expositiva por parte del docente, con presentación de teoría, seguida por presentación de ejercicios prácticos y resolución de los mismos. Las evaluaciones tradicionales –mediante solicitud de definiciones y realización de ejercicios- se tomaron al cerrar el ciclo de cada unidad didáctica.

La última unidad temática del año lectivo es la que se analiza en el presente trabajo.

La propuesta consistió en la elaboración por equipos de alumnos de un trabajo que fuera una producción original con herramientas de TIC sobre el tema DUA. Los estudiantes trabajaron en grupos de cuatro a seis integrantes y debían diseñar y desarrollar una aplicación informática interactiva (un juego, un tutorial, una aplicación de preguntas y respuestas) que permitiera a un usuario desconocedor del tema de drogas y de ciencias naturales, obtener información acerca de alguno de los tipos de drogas. Las consignas estuvieron orientadas para que la producción de los estudiantes fuera una herramienta “para enseñar” el tema a otros compañeros coetáneos. Ello daría a los estudiantes la posibilidad de expresión de reflexiones propias –generando producciones alternativas para presentar el tema-, claramente diferenciadas de los dispositivos TIC ya existentes y accesibles en la web.

Una vez finalizado el dispositivo TIC –también llamado aplicación- debían preparar una presentación grupal para el debate y crítica con los otros grupos. Consideramos esencial que los estudiantes pudieran des-

cribir públicamente sus modelos frente al resto de sus compañeros, ya que coincidimos con Talanquer (2011) cuando señala que“(…) *Involucrar a los estudiantes en actividades colaborativas de modelización de sistemas y procesos es una estrategia efectiva. (...) La creación y discusión pública de los modelos de los estudiantes (...) ofrece al docente oportunidades de evaluación de las ideas de los estudiantes (...y) fomenta la discusión sobre sus alcances y limitaciones*” (Talanquer, 2011).

Los estudiantes, además debieron elaborar un informe escrito que incluía un glosario con los términos químicos que consideraran relevantes, un “manual de usuario” de la aplicación TIC y una reflexión final individual, de carácter metacognitivo. Esta última actividad de metacognición consistió en la elaboración de un escrito personal, en el cual cada estudiante debía plasmar su visión crítica de la actividad realizada, la producción generada y su propio desempeño durante las actividades realizadas.

La intervención del docente como tutor y coordinador

El docente actuó como coordinador y orientador de las actividades, acompañando en todo momento el cronograma que se trazó cada equipo de estudiantes para llegar a cumplir los objetivos del trabajo. A pesar de que la modalidad de trabajo y los contenidos resultaban novedosos y esto provocaba cierta inquietud inicial en los estudiantes, el docente no debía presentar gran cantidad de información al comienzo de la actividad, ni pautar excesivamente el trabajo planificado por los distintos grupos, para evitar interferir en el trabajo autorregulado por los propios estudiantes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al comenzar las actividades, fue clave fomentar que los estudiantes manifestaran sus conocimientos sobre los contenidos que se irían a trabajar; que expresaran sus representaciones mentales y fueran conscientes de las mismas. Resulta interesante exponer aquí algunas de las representaciones mentales de los estudiantes. Por ejemplo, los alumnos plantearon que las drogas y el alcohol son sustancias cuyo consumo genera una condena social y moral generalizada, pero que ellos nunca tuvieron la oportunidad de acceder a información científica que explicara la forma en la cual actúan en el organismo. Estas expresiones idiosincrásicas fueron clave para favorecer luego, durante el desarrollo del trabajo, que los estudiantes tomaran conciencia sobre sus conflictos cognitivos para explicar esos fenómenos. Es decir, tuvieron que confrontar los límites de lo que sabían, no sabían, o creían que sabían. En este sentido, consideramos que los contenidos eran apropiados para trabajar con un entorno contextualizado propicio para que “...*los estudiantes adquieran conocimiento y competencias sobre la base de su necesidad de conocimientos al tratar un tema relevante cuyo punto de partida está constituido por sus propias preguntas e ideas*” (Parchmann, 2011).

Como producciones TIC los estudiantes presentaron una amplia varie-

dad de dispositivos TIC, tales como juegos, cuestionarios interactivos de opción múltiple, narrativas y páginas web, entre otros (Pérgola Galagovsky 2014a, 2014b). Las ocho producciones fueron expuestas y sometidas a discusión en plenario de equipos. Durante tal actividad los estudiantes pudieron reflexionar sobre sus concepciones idiosincrásicas, sus representaciones mentales, y los alcances y limitaciones de sus capacidades para comunicar y explicar sus dispositivos.

En este sentido, remarcamos la novedad del diseño y elaboración de herramientas TIC autorregulado por los propios estudiantes y el resultado positivo de logros para organizar sus tiempos y tareas dentro de cada equipo, debiendo consensuar opciones y soluciones.

Para realizar el análisis global de la propuesta didáctica realizamos al final una encuesta anónima individual (ver anexo) para relevar la opinión de los alumnos sobre distintos aspectos de la tarea realizada. En la encuesta se comparó el desarrollo de esta unidad con las unidades temáticas previas trabajadas durante el año, discriminando sus opiniones en rubros tales como la modalidad de trabajo, la evaluación, los conocimientos generados y lo que los alumnos creían haber aprendido y recordaban sobre los temas.

En la encuesta los estudiantes debían asignar una palabra y un emoticón (Hugo, 2012) a cada uno de esos distintos rubros, para cada temática. La figura 1 muestra las palabras y los emoticones con sus respectivas numeraciones. La tabla 1 muestra la clasificación de palabras y emoticones de acuerdo con su connotación positiva, negativa o neutra. El criterio de clasificación fue establecido por los autores y desconocido por los estudiantes.



Figura 1. Lista de palabras y emoticones que debían ser seleccionados por los estudiantes para evaluar sus opiniones respecto de cada rubro para cada tema de química estudiado en el año lectivo.

Tabla 1. Clasificación de las palabras y los emoticones, de acuerdo a su clasificación según sean positivas, neutras o negativas. La categorización correspondió al docente y no fue mencionada ni dada a conocer a los estudiantes.

	NÚMERO DE PALABRA	NÚMERO DE EMOTICÓN
POSITIVO	2, 5, 6, 7, 9, 14, 16	1, 2, 3, 4, 5, 10, 11, 14, 15
NEUTRAL	1, 8, 10	13
NEGATIVO	3, 4 ,11 ,12, 13, 15	6, 7, 8,9, 12, 16

En las figuras 2 a 5 se muestran los valores de respuestas positivas, negativas, neutras o de *no contesta*, provenientes de las encuestas. En todos los casos se verifica una valoración muy positiva del trabajo realizado en la última unidad didáctica del año respecto de los temas vistos previamente. Los resultados provenientes de haber elegido emoticones o palabras no mostraron diferencias significativas entre ellos. Por lo tanto, se presentan alternativamente.

La Figura 2 presenta la opinión particularizada acerca de la unidad didáctica completa. La Figura 3 presenta la opinión acerca del rubro "lo que aprendieron", manifestado mediante la elección de emoticones. La Figura 4 presenta la opinión acerca del rubro "evaluación", manifestado mediante la elección de palabras. La Figura 5 presenta la opinión sobre el rubro "contenidos teóricos", manifestado mediante la elección de palabras.

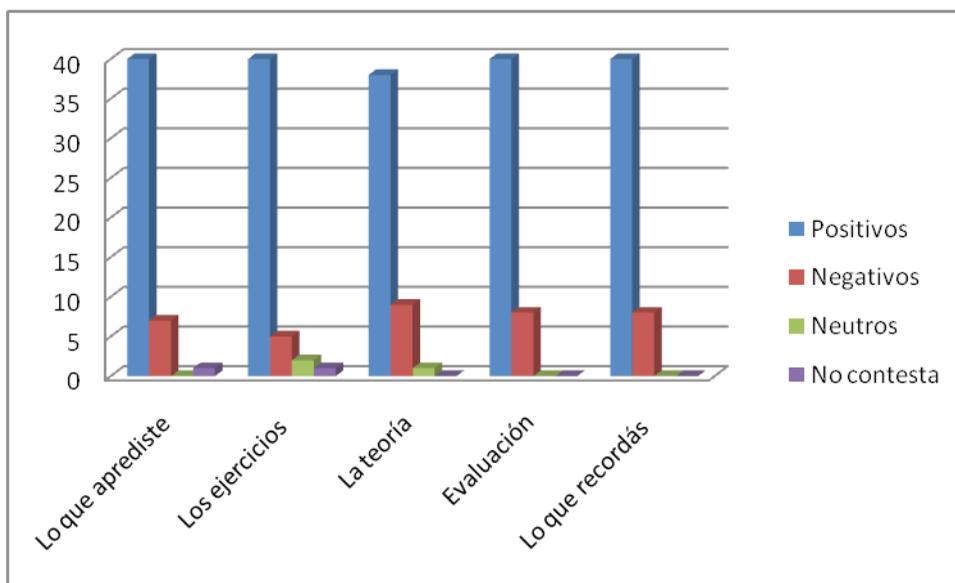


Figura 2: Opinión de los estudiantes acerca de la unidad didáctica de drogas de uso y abuso. Calificación con emoticones

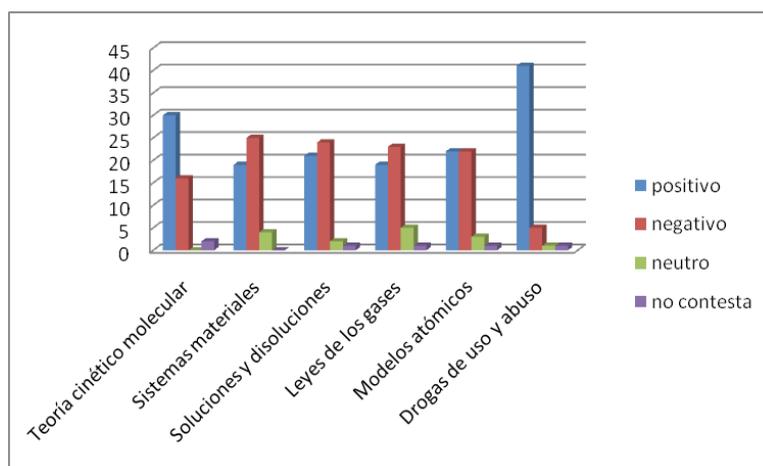


Figura 3: Opinión de los estudiantes acerca de lo "lo que aprendieron". Calificación con emoticones.

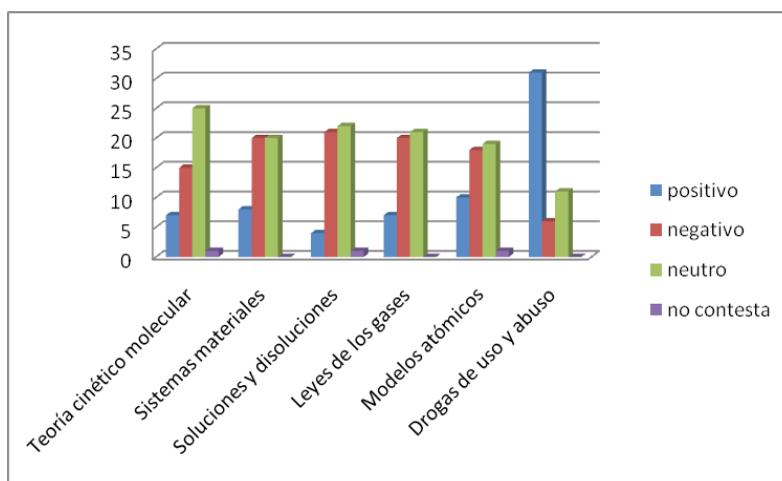


Figura 4: Opinión de los estudiantes acerca de la forma de la "evaluación" aplicada a contenidos de cada temática. Calificación con palabras.

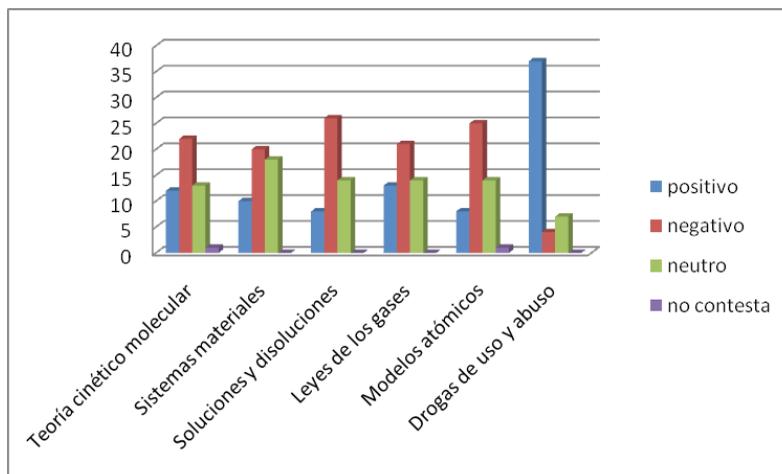


Figura 5: Opinión de los estudiantes acerca del aprendizaje de "los conceptos de la parte teórica" de cada temática. Calificación con palabras.

Dado que en la hoja de la encuesta (ver anexo) se pedía alguna justificación para la palabra o el emoticón elegido, se registraron comentarios muy interesantes. Por ejemplo:

- Un estudiante caracterizó el transcurso de los distintos contenidos del año como *"aburridos porque no me interesan... difíciles e incomprendibles"* y opinó que aprendió en la unidad de drogas porque resultó *"entretenida porque aprendimos cosas muy interesantes; lo mejor del año"*.
- Otro estudiante opinó que *"hubo cosas que me olvidé debido al tiempo transcurrido... lo mejor del año fue el último trabajo ya que me interesó el tema de drogas"*.
- Otro estudiante planteó con respecto a las otras unidades didácticas que *"ni las recuerdo"*, sin embargo en la categoría del trabajo de drogas de uso y abuso opinó que es más fácil recordarlo porque *"es algo que podés contarlo a otra persona sin que se aburra"*.
- Otros estudiantes manifestaron opiniones positivas con los contenidos y con la modalidad de trabajo:

"El trabajo de drogas me pareció interesante desde la parte teórica porque aprendí muchos conceptos de la parte química y la parte de cómo actúa el organismo humano ante las drogas. Además la evaluación fue fácil y entretenida la presentación ayuda a entender el tema."

"Fue el tema más copado y fácil de aprender La evaluación no me pareció ni fácil ni difícil ya que sabía toda la info, pero tenía que exponerlo. La parte teórica fue interesante porque aprendimos temas que antes no sabíamos."

"La materia me pareció aburrida en general porque las clases no eran interesantes, menos el último tema, porque la forma de trabajo era distinta".

"Ya que la materia no es de mi interés nunca pude engancharme con ninguno de los temas, a excepción del de abuso de drogas, que es un tema que yo siento importante, que se vive día a día y que encima fue evaluado de una manera mucho más dinámica que la normal que generalmente se usa en la prueba."

"...la forma de evaluar las drogas fue entretenida ya que estuvo buena la interacción y la forma de evaluar mediante la exposición, el debate y la presentación. Y lo que aprendí fue asombroso ya que ignoraba mucho acerca de este tema y me pareció muy interesante todo lo aprendido."

"...en cuanto a drogas fue uno de los mejores tp que hice en mi vida. Entretenido, informativo e innovador".

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos a partir de las encuestas nos permiten señalar que una modalidad de trabajo con enfoque de ciencia contextualizado y que da tiempo autorregulado para la elaboración grupal de una producción original, es altamente motivante para los estudiantes. Los estudiantes se comprometieron con la tarea, debieron explicitar sus propias representaciones mentales y, aún más, promover posteriores cambios en sus formas de pensar respecto de la temática abordada.

Debe considerarse que una propuesta de este tipo es aplicable a otros grupos de estudiantes, si en lugar de crear dispositivos TIC se solicita la realización de infografías, juegos, comics, relatos artísticos, por mencionar algunos (Greco, 2014, Bekerman y Galagovsky, 2006; Lerman 2005).

Si bien concluimos que el aprendizaje de ciencia mediante formas de enseñanza que dan lugar al aprendizaje autorregulado favorece el interés y la motivación intrínseca de los estudiantes, consideramos que es necesario profundizar la investigación sobre estas posibilidades. El desafío es articular con la profundización en contenidos científicos, ya que este punto presenta las mayores dificultades para su implementación, aún por parte de docentes convencidos de la importancia de enseñar ciencia en forma contextualizada.

BIBLIOGRAFÍA

- Bekerman D y Galagovsky, L. (2006). Visualización a través de analogías químicas. *VII Jornadas Nacionales de Enseñanza Universitaria de la Química*. Comodoro Rivadavia, Chubut, Argentina.
- Bolte, C., Streller, S., & Hofstein, A. (2013). How to motivate students and raise their interest in chemistry education, en *Teaching Chemistry–A Studybook*. Sense Publishers.
- Caamaño, A. (2011). Enseñar Química mediante la contextualización, la indagación y la modelización. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 17(69), 21-34.
- Dori, Y. J., Rodrigues, S., & Schanze, S. (2013). How to promote chemistry learning through the use of ICT, en *Teaching Chemistry–A Studybook*. Sense Publishers.
- Galagovsky, L. (2005). Conferencia de la Dra. Zafra Lerman, *Industria y Química*, 353, 42-44.
- Galagovsky, L. (2012). Educación en ciencia y tecnología: de la certeza de la excelencia a la incertidumbre de la compleja realidad. *Revista Ciencia e Investigación*, Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias. Premio Braun Menéndez, 2010, 62 (1), 6-19.

- Galagovsky, L.R., Lacolla, L.H., Di Giacomo, M.A. (2012). ¿Qué química básica enseñar? Aportes desde una indagación, *Industria y Química*, 365, 63-72.
- Greco, M. (2009). Leer, modelizar y producir infografías en las clases de ciencias. *Novedades Educativas*, 225.
- Huertas, J. A. (1997). *Motivación. Querer aprender*, 1.
- Lerman, Z. M. (2005). Chemistry: an inspiration for theatre and dance. *Chemical Education International*, 6(1), 1-5.
- Núcleos de aprendizajes prioritarios (2012). Ciclo Orientado de Educación Secundaria, Ciencias Naturales, Consejo Federal de Educación, Argentina.
- Míguez, M. (2005). El núcleo de una estrategia didáctica universitaria: motivación y comprensión., en: *Revista Electrónica de la Red de Investigación Educativa* [en línea]. Vol.1, No.3. (Julio-Diciembre de 2005). Disponible en Internet: <<http://revista.iered.org>>.
- Parchmann, I. (2011). La enseñanza de la química y el Año Internacional de la Química: oportunidades para mejorar la comprensión y el interés de los estudiantes. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 17(69), 8-20.
- Pérgola, M, Galagovsky, L (2014a). *Uso didáctico de un capítulo del libro Química y Civilización editado por la Asociación Química Argentina*, 30° Congreso Argentino de Química, Asociación Química Argentina, 22-24 de Octubre de 2014.
- Pérgola, M, Galagovsky, L (2014b). *Chemistry in context: a case on the subject legal and illegal drugs*. 248th American Chemical Society Meeting, 10-14 Agosto, San Francisco, EEUU.
- Pozo, J. I., Gómez Crespo, M. Á. (5ª ed.). (1998). *Aprender y enseñar ciencia*.
- Talanquer, V. (2011). El papel de las ideas previas en el aprendizaje de la química. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 17(69), 35-41.
- Wolansky, M, Rossetti, V. (2011). ¿Evitar el dolor? ¿Búsqueda de una falsa y efímera felicidad?... Drogas de uso y abuso. *Química y Civilización*, Buenos Aires: Asociación Química Argentina. 347-361

ANEXO 1: ENCUESTA REALIZADA A LOS ESTUDIANTES

ENCUESTA QUÍMICA 5° AÑO: Queremos saber tu opinión acerca de la enseñanza y aprendizaje de los temas que vimos hasta ahora.

- La encuesta es anónima por lo cual NO DEBES poner tu nombre.
- NO TIENE nota, por lo cual es importante que respondas sinceramente a cada pregunta.
- Por favor, responder todas las preguntas de acuerdo a tu opinión.

Consigna: Por favor, para cada Tema (a – e), completá la tabla con el número de la “palabra” y del “emotición” que le asignarías, según tu parecer.

Tema	Lo que aprendiste...	Los ejercicios que hiciste...	La parte teórica...	La evaluación...	Lo que recordás ahora de ese tema...
a- Teoría Cinético Molecular	Palabra N°: Emotición N°:	Palabra N°: Emotición N°:	Palabra N°: Emotición N°:	Palabra N°: Emotición N°:	Palabra N°: Emotición N°:
b- Sistemas Materiales	Palabra N°: Emotición N°:	Palabra N°: Emotición N°:	Palabra N°: Emotición N°:	Palabra N°: Emotición N°:	Palabra N°: Emotición N°:
c- Soluciones y disoluciones	Palabra N°: Emotición N°:	Palabra N°: Emotición N°:	Palabra N°: Emotición N°:	Palabra N°: Emotición N°:	Palabra N°: Emotición N°:
d- Leyes de los Gases	Palabra N°: Emotición N°:	Palabra N°: Emotición N°:	Palabra N°: Emotición N°:	Palabra N°: Emotición N°:	Palabra N°: Emotición N°:
e- Modelos Atómicos	Palabra N°: Emotición N°:	Palabra N°: Emotición N°:	Palabra N°: Emotición N°:	Palabra N°: Emotición N°:	Palabra N°: Emotición N°:
f- Trabajo sobre drogas de uso y abuso	Palabra N°: Emotición N°:	Palabra N°: Emotición N°:	Palabra N°: Emotición N°:	Palabra N°: Emotición N°:	Palabra N°: Emotición N°:

Por favor, justificá por lo menos cinco de tus elecciones.

De interés

EL PREMIO NOBEL DE QUÍMICA 2014

Este año se conmemora el 275 aniversario de la Real Academia Sueca de Ciencias. La Academia fue fundada en 1739 y es una organización independiente cuyo objetivo general es promover las ciencias y fortalecer su influencia en la sociedad. La Academia tiene especial responsabilidad en las ciencias naturales y matemáticas, pero se esfuerza por promover el intercambio de ideas entre diferentes disciplinas.

La Real Academia Sueca de Ciencias ha decidido conferir el Premio Nobel en Química 2014 a

Eric Betzig, Janelia Research Campus, Howard Hughes Medical Institute, Ashburn, VA, USA

Stefan W. Hell, Max Planck Institute for Biophysical Chemistry, Göttingen, and German Cancer Research Center, Heidelberg, Germany

William E. Moerner, Stanford University, Stanford, CA, USA

“por el desarrollo de la microscopía de fluorescencia de alta resolución”



Eric Betzig, estadounidense nacido en 1960 en Ann Arbor, MI, USA. Se doctoró en 1988 por la Cornell University, Ithaca, NY, USA. Trabaja actualmente como Líder de Grupo en el Instituto Médico Howard Hughes, Ashburn, VA, USA. <http://janelia.org/lab/betzig-lab>



Stefan W. Hell, alemán, nacido en Rumania en 1962, se doctoró en 1990 en la University of Heidelberg, Germany. Dirige el Instituto Max Planck de Química Biofísica, en Göttingen y el Centro Alemán de Investigación contra el Cáncer de Heidelberg, Alemania.

<http://www3.mpibpc.mpg.de/groups/hell>



William E. Moerner, estadounidense, nació en 1953 en Pleasanton, CA, USA y, tras doctorarse en 1982 en la Cornell University, Ithaca, NY, USA, trabaja en la Stanford University, Stanford, CA, USA.

<http://web.stanford.edu/group/moerner>

Informe de prensa de The Royal Swedish Academy of Sciences

Sobrepasando las limitaciones del microscopio óptico

Durante mucho tiempo la microscopía óptica mantuvo una presunta limitación: que nunca obtendría una mejor resolución que la mitad de la longitud de onda de la luz. Con la ayuda de moléculas fluorescentes los Laureados Nobel de Química 2014 eludieron ingeniosamente esta limitación. Su trabajo pionero ha llevado la microscopía óptica a la nanodimensión.

En lo que se conoce como nanoscopía, los científicos hoy visualizan los caminos de moléculas individuales dentro de las células vivas. Pueden ver cómo las moléculas crean sinapsis entre las células nerviosas en el cerebro; pueden rastrear proteínas implicadas en las enfermedades de Parkinson, Alzheimer y Huntington, mientras forman agregados; siguen proteínas individuales en los huevos fertilizados mientras estos se dividen en embriones.

Se consideraba casi obvio que los científicos nunca podrían estudiar las células vivas en el detalle molecular más pequeño. En 1873, el microscopista Ernst Abbe estipuló un límite físico para la resolución máxima de la microscopía óptica tradicional: nunca podría llegar a ser mejor que 0,2 micrómetros. Eric Betzig, Stefan W. Hell y William E. Moerner recibieron el Premio Nobel de Química 2014 por haber pasado por alto este límite. Debido a sus logros el microscopio óptico puede ahora mirar en el nanomundo.

Han sido recompensados dos principios separados. Uno permitió la técnica conocida como STED (que corresponde, en inglés a stimulated emission depletion) desarrollada por Stefan Hell en 2000. Se utilizan dos rayos láser; uno hace brillar moléculas fluorescentes, otro anula toda la fluorescencia a excepción de aquella en un volumen de tamaño nanométrico. El escaneo sobre la muestra, de nanómetro en nanómetro, produce una imagen con una resolución mejor que el límite estipulado por Abbe.

Eric Betzig y William Moerner, trabajando por separado, sentaron las bases para el segundo método, la microscopía de una sola molécula. El método se basa en la posibilidad de encender y apagar la fluorescencia de moléculas individuales. Los científicos captan la imagen de la misma zona varias veces, dejando brillar cada vez sólo unas pocas moléculas intercaladas. La superposición de estas imágenes produce una imagen súper densa resuelta en el nanonivel. En 2006 Eric Betzig utilizó este método por primera vez.

Hoy, la nanoscopia se utiliza en todo el mundo y a diario se produce nuevo conocimiento para mayor beneficio de la humanidad.

Los galardonados dividirán a partes iguales los 8 millones de coronas suecas (1,1 millones de dólares) con que está dotado el premio.

Información científica básica

CÓMO EL MICROSCOPIO ÓPTICO SE CONVIRTIÓ EN UN NANOSCOPIO

Science Editors: Måns Ehrenberg and Sven Lidin, the Nobel Committee for Chemistry

Text: Ann Fernholm

Illustrations: ©Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences

Editor: Ann Fernholm

©The Royal Swedish Academy of Sciences

Traducción de Luz Lastres Flores

Eric Betzig, Stefan W. Hell y William E. Moerner recibieron el Premio Nobel de Química 2014 por haber dejado de lado una presunta limitación científica que estipulaba que un microscopio óptico no puede producir una resolución mejor que 0,2 micrómetros. Usando la fluorescencia de moléculas, los científicos pueden ahora monitorear la interacción entre moléculas individuales dentro de las células; pueden observar cómo se agregan proteínas relacionadas con enfermedades y pueden realizar un seguimiento de la división celular en el nanonivel.

Células de la sangre, bacterias, células de levadura y espermatozoides... Cuando los científicos en el siglo 17 por primera vez estudiaron organismos vivos bajo un microscopio óptico, un nuevo mundo se abrió ante sus ojos. Este fue el nacimiento de la microbiología, y desde entonces, el microscopio óptico ha sido una de las herramientas más importantes en la caja de herramientas de las ciencias de la vida. Otros métodos de microscopía, tales como la microscopía de electrones, requiere medidas preparatorias que eventualmente matan a la célula.

Moléculas que brillan superando una limitación física

Durante mucho tiempo, sin embargo, la microscopía óptica fue sujeta por una restricción física en cuanto a qué tamaño de estructuras son posibles de resolver. En 1873, el microscopista Ernst Abbe publicó una ecuación demostrando cómo la resolución del microscopio está limitada, entre otras cosas, por la longitud de onda de la luz. Durante la mayor parte del siglo 20 esto llevó a los científicos a creer que, en los microscopios ópticos, nunca serían capaces de observar cosas más pequeñas que aproximadamente la mitad de la longitud de onda de la luz, es decir, 0.2 micrómetros. Los contornos de algunos de los orgánulos de las células, como la maquinaria de las mitocondrias, eran visibles. Pero era imposible discernir objetos más pequeños y, por ejemplo, seguir la interacción entre las moléculas individuales de proteínas en la célula. Es algo parecido a ser capaz de ver los edificios de una ciudad sin poder discernir cómo viven los ciudadanos y se dedican a sus vidas. Con el fin de comprender plenamente cómo funciona una célula, se necesita realizar un seguimiento de la labor de moléculas individuales.

La ecuación de Abbe aún se mantiene pero lo mismo ha sido sobrepasada. Eric Betzig, Stefan W. Hell y William E. Moerner han sido galardonados con el Premio Nobel de Química 2014 por haber llevado la microscopía óptica a una nueva dimensión usando moléculas fluorescentes. En teoría ya no hay ninguna estructura demasiado pequeña como para ser estudiada. Como resultado, la microscopía se ha convertido en nanoscopía.

La historia de cómo se evitó el límite de difracción de Abbe corre en pistas paralelas; son recompensados dos diferentes principios, que han sido desarrollados independientemente uno de otro. Comenzamos en 1993, en un piso de estudiantes en el sur-oeste de Finlandia, donde Stefan Hell tuvo una idea brillante mientras hojeaba un libro de texto de Óptica Cuántica

La rebelión juvenil contra el límite de difracción de Abbe, recibida con escepticismo

Desde que consiguiera su Ph D de la Universidad de Heidelberg en 1990, Stefan Hell había estado buscando una manera de eludir la limitación que Ernst Abbe había definido más de un siglo antes. La idea de desafiar un principio tan establecido era tentadora. Pero los científicos de alto nivel en Alemania habían tomado su entusiasmo con escepticismo, y por lo tanto Stefan Hell se había refugiado en el frío norte. Un profesor de la Universidad de Turku, que trabajaba en microscopía de fluorescencia le había ofrecido una posición en su equipo de investigación. Hell estaba convencido de que tenía que haber una manera de eludir el límite de difracción de Abbe, y cuando leyó las palabras emisión estimulada en un libro sobre Óptica Cuántica una nueva línea de pensamiento tomó

forma en su mente: «En ese momento, me di cuenta. Finalmente había encontrado un concepto concreto a seguir -. un hilo real» Tal fue su comentario en 2009 – Ahondemos en su idea.

La solución: escaneo con un destello de tamaño nanométrico sobre la muestra

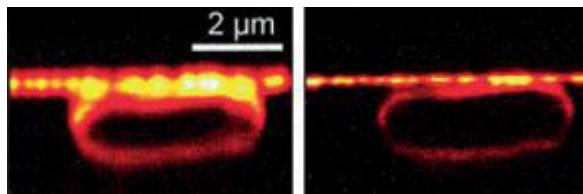
En Turku Stefan Hell trabajó en la llamada microscopía de fluorescencia, una técnica en la que los científicos utilizan moléculas fluorescentes para tener una imagen de partes de la célula. Por ejemplo, se pueden utilizar anticuerpos fluorescentes que se acoplan específicamente al ADN celular. Los científicos excitan los anticuerpos con un breve pulso de luz, haciéndolos brillar por un corto tiempo. Si los anticuerpos se acoplan al ADN irradian desde el centro de la célula, donde el ADN se empaqueta en el interior del núcleo de la célula. De esta manera, los científicos pueden ver donde se ubica una determinada molécula. Pero sólo habían podido localizar a grupos de moléculas, tales como hebras enredadas de ADN. La resolución era demasiado baja para discernir cadenas individuales de ADN. Era como ser capaz de ver un rollo de hilo sin poder seguir el hilo en sí.

Cuando Stefan Hell leyó sobre la emisión estimulada, se dio cuenta de que debería ser posible diseñar un tipo de nano-rayo que pudiera barrer a lo largo de la muestra, un nanómetro a la vez. Al utilizar emisión estimulada los científicos pueden apagar moléculas fluorescentes. Ellos dirigen un rayo láser a las moléculas que pierden inmediatamente su energía y se oscurecen. En 1994, Stefan Hell publicó un artículo resumiendo sus ideas. En el método propuesto, el llamado stimulated emission depletion, STED, (agotamiento de emisión estimulado), un pulso de luz excita todas las moléculas fluorescentes, mientras que otro pulso de luz apaga la fluorescencia de todas las moléculas excepto aquellas ubicadas en un volumen de tamaño nanométrico en el centro. Sólo este volumen es registrado. Haciendo un barrido a lo largo de la muestra y midiendo continuamente los niveles de luz, es posible obtener una imagen integral. Cuanto menor sea el volumen al que se permite emitir fluorescencia en un solo momento, mayor la resolución de la imagen final. Por lo tanto, en principio, ya no hay límite a la resolución de los microscopios ópticos.

El desarrollo del primer nano-destello en Alemania

El artículo teórico de Stefan Hell no creó ninguna conmoción inmediata, pero era lo suficientemente interesante como para que le ofrecieran un puesto en el Instituto Max Planck de Química Biofísica en Göttingen. En los años siguientes llevó sus ideas a buen término; desarrolló un microscopio STED.

En 2000 fue capaz de demostrar que sus ideas realmente funcionan en la práctica, mediante, entre otras cosas, imágenes de un *E. coli* bacterium con una resolución nunca antes alcanzada en un microscopio óptico (figura 1).



*Figura 1. Una de las primeras imágenes obtenidas por Stefan Hell usando un microscopio STED. A la izquierda, imagen de una bacteria *E. coli* usando un microscopio convencional; a la derecha, la imagen de la misma bacteria usando STED. La resolución de la imagen STED es tres veces mejor.*

Imagen de Proc. Natl. Acad. Sci. USA 97: 8206–8210

El microscopio STED recoge la luz de una multitud de pequeños volúmenes para crear un gran conjunto. En contraste, el segundo principio recompensado, microscopía de una sola molécula, implica la superposición de varias imágenes. Eric Betzig y W.E. Moerner (que siempre ha sido llamado por sus iniciales, W.E.) contribuyeron a su desarrollo, independientemente uno de otro, aportando diferentes miradas fundamentales. La base fue puesta cuando W.E. Moerner tuvo éxito en la detección de una única pequeña molécula fluorescente.

W.E. Moerner - el primero en detectar una molécula fluorescente individual

En la mayoría de los métodos químicos, por ejemplo medición de absorción y de fluorescencia, los científicos estudian millones de moléculas simultáneamente. Los resultados de tales experimentos representan una especie de molécula típica promedio. Los científicos han tenido que aceptarlo, porque nada más era posible, pero por mucho tiempo soñaban con la medición de moléculas individuales, ya que cuanto más rico y detallado fuera el conocimiento, mayor sería la posibilidad de entender, por ejemplo, cómo se desarrollan las enfermedades.

Por lo tanto, en 1989, cuando Moerner fue el primer científico en el mundo capaz de medir la absorción de luz de una sola molécula, esto fue un logro fundamental. En ese momento estaba trabajando en el centro de investigación de IBM en San José, California. El experimento abrió la puerta a un nuevo futuro e inspiró a muchos químicos a dirigir su atención a las moléculas individuales. Uno de ellos era Eric Betzig, cuyos logros serán cubiertos más adelante.

Ocho años más tarde Moerner dio el siguiente paso hacia la microscopía

de una sola molécula, basándose en el descubrimiento de la proteína verde fluorescente (GFP), previamente galardonado con el Premio Nobel.

Lámparas de encendido y apagado de tamaño molecular

En 1997 W.E. Moerner se había unido a la Universidad de California en San Diego, donde Roger Tsien, futuro Premio Nobel, estaba tratando de conseguir la fluorescencia de la GFP en todos los colores del arco iris. La proteína verde fue aislada de una medusa fluorescente y su fuerza reside en su capacidad para hacer visibles otras proteínas dentro de las células vivas. Usando tecnología genética los científicos acoplan la proteína verde fluorescente a otras proteínas. La luz verde posteriormente revela exactamente en qué lugar de la celda está posicionada la proteína.

W.E. Moerner descubrió que la fluorescencia de una variante de la GFP se podía encender y apagar a voluntad. Cuando excitaba la proteína con luz de longitud de onda de 488 nanómetros la proteína comenzaba a fluorescer, pero después de un tiempo se desvanecía. Independientemente de la cantidad de luz que dirigiera entonces a la proteína, la fluorescencia estaba muerta. Resultó, sin embargo, que la luz de longitud de onda de 405 nanómetros podría traer la proteína de vuelta a la vida. Cuando se reactivaba la proteína, fluorescía una vez más a 488 nanómetros.

Moerner dispersó estas proteínas excitables en un gel, de modo que la distancia entre cada proteína individual fuese mayor que el límite de difracción de Abbe de 0,2 micrómetros. Puesto que estaban muy dispersas, un microscopio óptico podría discernir el resplandor de las moléculas individuales - eran como diminutas lámparas con interruptores. Los resultados fueron publicados en la revista científica Nature en 1997.

Por este descubrimiento Moerner demostró que es posible controlar ópticamente la fluorescencia de moléculas individuales. Esto resolvía un problema que Eric Betzig había formulado dos años antes.

Cansado de la academia - pero obsesionado por el límite de difracción de Abbe

Al igual que Stefan Hell, Eric Betzig estaba obsesionado por la idea de sobrepasar el límite de difracción de Abbe. A comienzo de la década de 1990 estaba trabajando en un nuevo tipo de microscopía óptica llamada microscopía óptica de campo cercano en los Laboratorios Bell, en Nueva Jersey. En la microscopía de campo cercano se emite el rayo de luz desde una punta extremadamente delgada que se coloca a sólo unos pocos nanómetros de la muestra. Este tipo de microscopía puede también eludir el límite de difracción de Abbe, aunque el método tiene importantes debilidades. Por ejemplo, la luz emitida tiene tan corto rango que es

difícil visualizar estructuras por debajo de la superficie de la célula.

En 1995 Eric Betzig concluyó que la microscopía de campo cercano no podría mejorarse mucho más allá. Además, él no se sentía a gusto en el mundo académico y decidió poner fin a su carrera de investigación; sin saber dónde ir después, dejó los Laboratorios Bell. Pero el límite de difracción de Abbe se mantuvo en su mente. Durante una caminata en un frío día de invierno una nueva idea vino a él: ¿podría ser posible evitar el límite de difracción mediante el uso de moléculas con diferentes propiedades, moléculas que fluorescieran con diferentes colores?

Inspirado por W.E. Moerner, entre otros, Eric Betzig ya había detectado fluorescencia en moléculas aisladas utilizando microscopía de campo cercano. Empezó a preguntarse si un microscopio regular podría producir la misma alta resolución si diferentes moléculas brillaran con diferentes colores, como el rojo, amarillo y verde. La idea era que el microscopio registrara una imagen por color. Si todas las moléculas de un color se dispersaran y nunca estuvieran más cerca entre sí que los 0,2 micrómetros estipulados por el límite de difracción de Abbe, su posición se podría determinar con gran precisión. A continuación, cuando estas imágenes fueran superpuestas, la imagen completa tendría una resolución mucho mejor que el límite de difracción de Abbe, y moléculas de color rojo, amarillo y verde serían distinguibles aunque su distancia fuera sólo unos pocos nanómetros. De esta forma podría eludirse el límite de difracción de Abbe. Sin embargo, hubo algunos problemas prácticos, por ejemplo, una falta de moléculas con una cantidad suficiente de propiedades ópticas distinguibles.

En 1995 Eric Betzig publicó sus ideas teóricas en la revista *Optics Letters*, y posteriormente dejó el mundo académico y se unió a la compañía de su padre.

Atraído de vuelta a la microscopía por las proteínas verdes fluorescentes

Por muchos años Eric Betzig se mantuvo totalmente desconectado de la comunidad investigadora. Pero un día su anhelo por la ciencia cobró vida de nuevo, y volviendo a la literatura científica se encontró por primera vez con la proteína verde fluorescente. Al darse cuenta de que había una proteína que podría hacer visibles otras proteínas dentro de las células, revivieron los pensamientos de Betzig de cómo eludir el límite de difracción de Abbe. El verdadero avance se produjo en 2005, cuando se topó con proteínas fluorescentes que podrían ser activadas a voluntad, similares a las que W.E. Moerner había detectado en 1997 a nivel de moléculas aisladas. Betzig se dio cuenta de que una proteína tal era la herramienta necesaria para poner en práctica la idea que había tenido diez años antes. Las moléculas fluorescentes no tenían que ser de diferentes co-

lores, sería lo mismo que mostraran fluorescencia en diferentes momentos.

Sobrepasando el límite de Abbe mediante la superposición de imágenes

Apenas un año más tarde, Eric Betzig demostró, en colaboración con científicos trabajando en proteínas fluorescentes excitables, que su idea se mantenía en la práctica. Entre otras cosas, los científicos acoplaron la proteína brillante a la membrana que envuelve el lisosoma, la estación de reciclaje de la célula. Utilizando un pulso de luz las proteínas se activaban para la fluorescencia, pero ya que el pulso era tan débil sólo una fracción de ellas comenzaba a brillar. Debido a su pequeño número, casi todas ellas se ubicaban a una distancia una de otra mayor que el límite de difracción de Abbe de 0,2 micrómetros. Por lo tanto la posición de cada proteína brillante se pudo registrar con gran precisión en el microscopio. Después de un tiempo, al extinguirse su fluorescencia, los científicos activaban un nuevo subgrupo de proteínas. Una vez más, el pulso era tan débil que sólo una fracción de las proteínas comenzaba a brillar, después de lo cual otra imagen era registrada. Este procedimiento se repitió una y otra vez.

Cuando Betzig superpuso las imágenes terminó con una imagen de super-resolución de la membrana del lisosoma. Su resolución era mucho mejor que el límite de difracción de Abbe. Un artículo publicado posteriormente en Science en 2006, presentó el innovador trabajo.

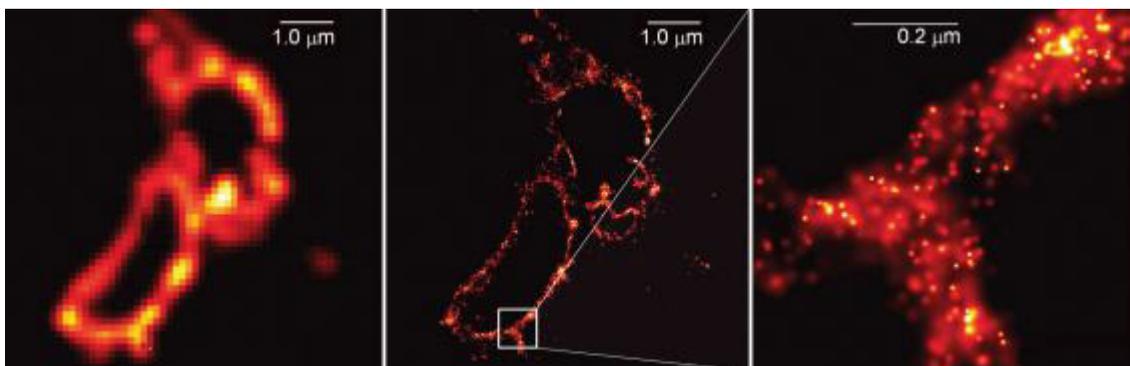


Figura 2. La imagen central muestra las membranas del lisosoma y es una de las primeras obtenidas por Betzig usando la microscopía de moléculas individuales.

A la izquierda, la misma imagen obtenida usando un microscopio convencional. A la derecha, la imagen de las membranas ha sido aumentada. Notar la división de escala de 0,2 micrometros, equivalente al límite de difracción de Abbe. La resolución esta varias veces mejorada.

Imagen de Science313:1642-1645.

Los galardonados están todavía escudriñando los secretos más íntimos de la vida

Los métodos desarrollados por Eric Betzig, Stefan Hell y W.E. Moerner han llevado a varias técnicas nanoscópicas y se utilizan actualmente en todo el mundo. Los tres laureados siguen siendo activos investigadores en la grande y creciente comunidad de científicos que encabezan la innovación en el campo de la nanoscopía. Cuando dirigen sus poderosos nanoscopios hacia los componentes más pequeños de la vida también producen conocimiento de vanguardia. Stefan Hell ha observado el interior de células nerviosas vivas con el fin de entender mejor las sinapsis cerebrales. W.E. Moerner ha estudiado las proteínas en relación con la enfermedad de Huntington. Eric Betzig ha rastreado la división celular dentro de los embriones. Estos son sólo algunos de los muchos ejemplos.

Una cosa es cierta, los Premios Nobel de Química 2014 han sentado las bases para el desarrollo de un conocimiento de la mayor importancia para la humanidad.

Enlaces y lecturas adicionales

Más información sobre los premios de este año, incluyendo un artículo científico en inglés, se puede encontrar en sitio web de la Royal Swedish Academy of Sciences, <http://kva.se>, and at <http://nobelprize.org>.

Artículos

Nair, P. (2012) QnAs with W. E. Moerner, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 109(17):6357

Deffke, U. (2011) Outsmarting optical boundaries, www.mpg.de/1039625/Optical_Boundaries

Gewin, V. (2006) Eric Betzig, group leader, Janelia Farm Research Campus, Howard Hughes Medical Institute, Leesburg, Virginia, Nature 440:578

Howard Hughes Medical Institute, Biography Eric Betzig, www.hhmi.org/scientists/eric-betzig

Conferencias y entrevistas (video)

Betzig, E. (2012) Day 2 Distinguished Lecture by Dr. Eric Betzig at MF Symposium, www.youtube.com/watch?v=UqMIL8-eaxk

Interview with Betzig, E. (2013) Eric Betzig Sequence, www.youtube.com/watch?v=RfmgDv46sC8

Interview with Hell, S. W. (2013) Stefan Hell Sequence, www.youtube.com/watch?v=WjBPFpVu_6I

Interview with Moerner, W. E. (2013) Alumni Achievement Award: W.E. Moerner

Un poco de historia

ALQUIMIA, LOS PRIMEROS PASOS DE LA QUÍMICA

Ofelia Dora Galarza

Cátedra: Historia y Epistemología de la Química. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de Catamarca. Catamarca. Argentina.

odoragalarza@yahoo.com.ar

Resumen. Desde los comienzos de la humanidad, el hombre buscó, incansablemente y a veces sin éxito, dar respuesta a un interrogante crucial: ¿De qué están formadas todas las cosas que existen? Las ideas sobre la naturaleza del Universo dominaron la curiosidad humana, se presentaron y repitieron obstinadamente en sus reflexiones. En este contexto la Química se hace presente casi simultáneamente con la aparición del ser humano; si bien es cierto no fue concebida desde sus comienzos como Ciencia los primeros aportes fueron decisivos para su estructuración actual. El objetivo principal es: Analizar los antecedentes que originaron los primeros pasos de la Química como ciencia. Para investigar el objeto en estudio, dadas sus características, se privilegiará una lógica cualitativa. En este contexto se pronostica obtener datos relevantes para comprender y reconstruir una visión de conjunto de la disciplina Química desde los tiempos más remotos y desentramar esta etapa de la Historia de la Química considerada fundamental para entender los avances vertiginosos que se dan en la actualidad.

Palabras clave: Alquimia, Historia de la Química, Química

Alchemy, the first steps of the chemistry

Abstract. Since the beginnings of humanity, man tirelessly searched, sometimes unsuccessfully, to answer a critical question: What is every existing thing made of? The ideas about the nature of the universe have dominated human curiosity; they have been presented and have obstinately repeated themselves in their reflections. In this context, Chemistry comes to scene almost at the same time that the human being appeared; and in spite that at the beginning it was not considered a science, the first contributions were decisive for its current structure. The principal aim is: To analyze the precedents that originated the first steps of the Chemistry as science. In order to analyze the object of study, due to its characteristics, qualitative logics will be followed. It is predicted to obtain relevant information to understand and to reconstruct an overall view of the Chemical discipline from the most remote times and clear up this stage of the History of Chemistry considered vital to understand the dizzy advances that are given at present.

Keywords: Alchemy, Chemistry History, Chemistry

INTRODUCCIÓN

Habitualmente, se divide la historia de la alquimia occidental en tres períodos cronológicos: el greco-egipcio, que va desde el siglo III al IX; el árabe comprendido entre el siglo VIII y el XV y el latino-europeo abarcando los siglos XII al XVIII. En este trabajo se analizarán los primeros tiempos del período greco-egipcio.

La palabra alquimia aparece por primera vez en documentos de alrededor del siglo IV a.C., escrita como *Khemia*. Quizás deriva de la palabra egipcia *kmt* o *kemi*, que significa "tierra negra". Puede haber derivado también de la palabra griega *chyma* que se refiere al derretimiento y fundición de metales. Es posible a su vez que haya tenido origen chino. Una antigua palabra china para denominar la fabricación del oro sonaba como *kemi* y puede haber alcanzado el Oeste a través de los marinos y mercaderes árabes que comerciaban con los pueblos de la costa sur de China. De cualquier manera parece no haber dudas sobre el hecho de que los árabes agregaron el prefijo *al*, que significa "la", para formar *alchemy* o *alkemi*.

Generalmente se concuerda que existen dos divisiones principales de la alquimia: la alquimia esotérica y la alquimia exotérica. La alquimia esotérica, o religiosa es considerada como un intento de entender a los dioses, y encontrar la salvación. Los alquimistas esotéricos consideraban a las transformaciones químicas como analogías y usaron sus observaciones para moldear alegorías religiosas. Para ellos era esencial, por razones religiosas, llevar cuidadosos registros de lo que veían y hacían. Reunieron y registraron sus resultados, a pesar de hacerlo en forma secreta y codificada.

La alquimia esotérica nació antes que la exotérica, probablemente como una rama de la mezcla de la astrología con la religión. Después de alrededor del año 600 a.C., se desarrolló en todo el antiguo mundo un deseo profundamente sentido de salvación personal y dicha eterna, quizás como una compensación de las tristes condiciones bajo las que la masa de la humanidad vivía. Es así que surgieron las religiones personales, entre ellas el Budismo, el Cristianismo, el Islamismo, etc. Los astrólogos y los alquimistas estaban interesados en sus almas inmortales, y la salvación rápidamente se volvió el propósito del estudio alquímico.

La alquimia exotérica era definitivamente mundana, y algunas veces hasta burda. En el Cercano Oeste, constituía la búsqueda de la piedra filosofal, que podía transmutar un metal innoble (cobre, plomo, estaño, etc.) en oro.

La ciencia griega estimuló la alquimia exotérica, ya que cuando los joyeros y herreros oyeron de las cuatro cualidades y los cuatro elementos, inmediatamente se hizo obvio para los alquimistas que el oro realmente

podía hacerse de plomo y otros metales innobles. Todo lo que tenían que hacer era cambiar las proporciones de las cualidades del metal bajo para asemejarlo al oro. En teoría era posible. El único problema era práctico, la elección del mejor procedimiento a seguir. La búsqueda de este procedimiento es lo que llamamos alquimia exotérica. La misma se extendió durante todo el período considerado en este trabajo. Los alquimistas exotéricos buscaron a lo largo y ancho e intensamente la manera de transmutar metal en oro.

Los escritos primitivos de la alquimia nombran a algunos personajes como autoridades en el arte secreto y sagrado. Es así que se hace referencia a Hermes Trimegistos (125-50 a.C.), como el fundador original de la alquimia. Hermes fue la deidad egipcia llamada *Thoth*, patrón legendario de las artes y las ciencias. Un increíble número de trabajos se dice que fue escrito por él; es por eso que la designación de la alquimia como arte hermético sea debido a su reputación legendaria.

El primer nombre que aparece para representar a un hábil experimentador cuyos escritos han sido preservados fragmentariamente en copias realizadas por escritores posteriores, es el de Demócrito. Esta persona, generalmente llamada por los escritores de la alquimia Demócrito de Abdera, fue un filósofo que enunció una teoría atómica. Sin embargo, evidencias muestran claramente que Demócrito, el alquimista, tenía muy poco en común con el filósofo de Abdera, que este pseudo Demócrito vivió cerca de los comienzos de nuestra era y perteneció a la escuela de Alejandría de los neoplatonistas y el tiempo exacto en que vivió es desconocido. Hubo también quien consideró que en realidad el pseudo Demócrito fue un tal Bolos de Mendes quien fue un escritor de la escuela de Demócrito y que probablemente vivió entre los años 300 a.C o 200 a.C.

Berthelot, (1887), publicó el trabajo del pseudo Demócrito a partir del manuscrito de St. Marks. En general, contiene recetas prácticas, alguna de las cuales también se encuentran en el Papiro de Estocolmo, para mezclar o colorear metales que imitaron al oro o la plata, incluyendo una parte mística con alusiones alegóricas o simbólicas sobre la transmutación y con manifiesta intención de impresionar al lector acerca de la posesión del conocimiento oculto. Las recetas prácticas del pseudo Demócrito difieren de las del Papiro en su camino planeado y más simple, pero tienen las mismas intenciones en cuanto a tratar de imitar el oro y la plata a partir de mezclas de cobre amarillo y blanco, plomo, estaño, mercurio y arsénico; mezclando colores o barnices que al ser aplicados superficialmente podían asemejar al oro o a la plata y por los materiales utilizados en estas recetas. También aparecen recetas para preparar elixires de oro y de plata. Es útil aclarar que, para evitar confusiones, de ahora en adelante se nombrará a este experimentador como pseudo Demócrito.

Zósimo de Panópolis fue un alquimista griego que vivió entre finales del siglo III y comienzos del IV. Nació en Panópolis, actualmente, Ajmin, en el alto Egipto. Escribió los libros de alquimia más antiguos de que se tenga noticia. Sus puntos de vista son muy similares a los del pseudo Demócrito a quien cita con evidente respeto; los escritos de Zósimo son una mezcla de operaciones de laboratorio, aparatos químicos y métodos con simbolismos místicos, referidos a la transmutación de metales innobles en oro y plata.

OBJETIVOS

Analizar los aportes realizados por los alquimistas de los primeros tiempos período greco-egipcio.

Exponer testimonios, recetas y vocabulario empleado por los alquimistas en los primeros tiempos de la Historia de la Química.

Valorar el nivel de aporte de las primitivas contribuciones de los alquimistas.

METODOLOGÍA

Para investigar el objeto en estudio, dadas sus características, se emplea una lógica cualitativa. La investigación tiende a enfatizar la inducción analítica y a buscar la comprensión focalizándose por lo tanto en el contexto de descubrimiento. Es de carácter no experimental, con asiento en un estudio descriptivo con diseño predominantemente transeccional descriptivo, coexistiendo con momentos de corte longitudinal de tendencia.

La selección de casos en estudio implica el trabajo en un determinado Universo – la alquimia – apoyado en un muestreo teórico con procesos progresivos y secuenciales de ampliación o reducción de la muestra según las categorías teóricas emergentes.

Se utilizan técnicas de obtención y análisis de la información que comprometan el estudio de fuentes bibliográficas primarias, secundarias y terciarias con privilegio del análisis del contenido; se establecen dos categorías teóricas de análisis: Alquimia Exotérica y Alquimia esotérica.

RESULTADOS

Análisis y Discusión

La consideración y análisis de los datos en términos de la unidad de análisis seleccionada da indicios que muestran que en esta etapa se manifiestan hechos relacionados a situaciones de transformaciones físicas y químicas tales como: mezcla, condensación, sublimación, destilación, fusión, ebullición, combinación, descomposición, entre otras. A fines de un análisis más organizado se reconocen dos categorías, en función del

propósito que perseguían los alquimistas en su afán de producir oro, ellas son: *Alquimia Esotérica* y *Alquimia Exotérica*.

Alquimia Esotérica

Es conveniente recordar que los alquimistas esotéricos buscaron producir oro como medio de salvación personal y que sus registros se realizaron en forma secreta y codificada, esto se debía a que los alquimistas esotéricos se creían los elegidos para ser depositarios de la verdad y por ello no debían divulgar su conocimiento. A continuación se presentan algunos de esos códigos que fueron descifrados desde manuscritos tempranos y a los que diversos autores hacen referencia, lo que servirá de ayuda, en lo posible, en la interpretación de las transformaciones realizadas por los alquimistas esotéricos.

Al respecto Babor (1975) expresa que: *"Para un iniciado, un dragón que se muerde la cola es la imagen de la unidad de la materia; un pájaro que levanta vuelo es la sublimación; un pájaro que desciende a tierra es la precipitación. Un toro o un león simbolizan la tierra; un águila el aire; una ballena el agua y un dragón o una salamandra el fuego"*.

Parafraseando a Babor, se puede expresar que los alquimistas esotéricos, se vieron obligados a escribir en un estilo alegórico, confuso y lleno de misterio, y se sintieron ofuscados por un exceso de dogmatismo filosófico, actitud que influyó en el lento progreso de la alquimia.

Recetas alquímicas tempranas

El Papiro de Estocolmo contiene una receta para el campo de las joyas de fantasía: *"Para hacer perlas artificiales...el cristal mordiente o rugoso en la orina de un joven varón y alumbre hecho polvo, luego sumergirlo en azogue y en leche de mujer"* (Stillman, 1924). Aquí, según Salzberg, (1991) azogue no quiere decir mercurio sino probablemente una suspensión de escamas de pescado en agua. Casi en forma certera la "orina de un joven varón" era un código para designar otra cosa como también la "leche de mujer".

Otra receta química era para falsificar esmeraldas: *"Tomar plomo blanco, una parte, y de cualquier vidrio que escoja, dos partes, fusiónelas en un crisol y luego cuele la mezcla. A este cristal agregue la orina de un burro y luego de cuarenta días encontrará esmeraldas"*. (Stillman, 1924). El autor considera que esta era una receta para vidrio verde, que el color verde venía de una sal de cobre, llamada en clave "orina de burro".

La preparación del cinabrio es descrita como sigue por el pseudo Demócrito *"Toma mercurio y poner esto en una olla de arcilla, con azufre nativo sobre y bajo el mercurio. Cubrir con una capa de arcilla y sellarlo con un luten resistente al fuego. Cuando el luten se seque, calentarlo en*

un horno de vidrio 3 días y 3 noches. Después de esto, tomar la olla, y encontrarás una sustancia roja. Tómalo, trabájalo, tritúralo en agua de mar, exponerlo al sol por tres días y dejarlo secar. Cuando esté finalmente seco, exponerlo al sol con orina de un infante amamantando, durante 16 días y noches. Sacarlo, ponerlo en un recipiente de vidrio. Preservar esto para usar. Esto es nuestro cinabrio” (Salzberg, 1991). Es evidente que el propósito de esta receta es obtener sulfuro mercuríco, para lo cual se parte de sus constituyentes, azufre y mercurio. Se advierte un proceso de calentamiento prolongado, aislamiento del sistema, el luten era utilizado para sellar juntas, con una probable intención de evitar la pérdida de gases, o simplemente conservar la masa inicial, también hay un proceso mecánico de trituración o molienda y una posterior evaporación, a expensas del calor producido por el sol.

Transformaciones físicas y químicas en la alquimia

Los alquimistas esotéricos consideraban que: *“Ya que la destilación y la sublimación purificaban sustancias materiales, entonces dichos procesos obviamente purificaban las almas de estas sustancias y por extensión podían también purificar las almas humanas. En la destilación, el residuo que quedaba en el matraz se denominaba el cuerpo muerto o caput mortuum (literalmente, cabeza muerta), y los vapores condensados se consideraban el alma o el espíritu del material” (Stillman, 1924). El término “espíritu” todavía se conserva en los nombres de, por ejemplo, espíritus de amoníaco o espíritus de nitró (KNO_3), que hacen referencia a los gases desprendidos por estas sustancias ya sea por calentamiento de las mismas o por algún proceso químico en donde se vean involucradas. Se refleja en este escrito un conocimiento y utilización de los procesos de destilación y sublimación distinguiendo claramente los estados de agregación sólido, como el “cuerpo” de la sustancia y gaseoso como el “espíritu” de la misma sustancia.*

Otro ejemplo donde las transformaciones de diversa naturaleza son descritas de manera codificada puede exponerse a través de un Tratado de Zósimo titulado “Sobre virtudes y composición de las aguas”, en el que, su primera parte, dice: *“La composición de las aguas, el movimiento, el crecimiento, la extirpación, la restauración de la naturaleza corporal, la separación del espíritu del cuerpo y la fijación del espíritu sobre el cuerpo, operaciones que no resultan de la añadidura de las naturalezas exteriores extraídas de la nada, pero las cuales son debido a su propia naturaleza que actúa sobre esto derivada de una simple clase solamente, como con minerales duros y solidificados y con extractos líquidos de los tejidos de las plantas, todo este sistema uniforme y muy coloreado consta de una investigación múltiple e infinitamente variada de todas las cosas, la investigación de la naturaleza, subordinada a la influencia lunar y a la medida del tiempo, las cuales rigen el término y el crecimiento*

de acuerdo a como la naturaleza se transforma..."

En este pasaje se pone de manifiesto un sinnúmero de reacciones físicas y químicas. El agua era considerada una sustancia líquida y capaz de evaporar. El movimiento estaba referido sobre todo a los procesos físicos de ebullición y fusión, es decir los que manifestaban un cambio, un movimiento visible. El desprendimiento del espíritu del cuerpo, era adjudicado a las sustancias capaces de volatilizar o sublimar o tal vez evaporar, es decir que la materia gaseosa o volátil representaba el espíritu, que se separaba del cuerpo; a su vez la fijación del espíritu representaba el proceso inverso. Todas estas operaciones se unían y actuaban. Los actores eran los cuerpos sólidos, minerales; y los líquidos eran de varios tipos, de origen vegetal y también agua, los estados de agregación de los cuerpos son tenidos en cuenta a la hora de describirlos. El sistema representaba un proceso químico, en donde se apreciaban cambios de coloración y por supuesto, completando el sistema había componentes místicos, en este caso, la influencia lunar

Alquimia Exotérica

Los alquimistas exotéricos, como se mencionó al comienzo de este período, se dedicaron a la búsqueda de la piedra filosofal. A este respecto, Stillman (1924) considera que: "*El concepto de "piedra filosofal" lo cual aparece bajo distintos nombres estaba referida a la existencia de algunas sustancias que podían actuar simplemente como un fermento y sería alguna sustancia mística que añadida a un metal base podía inducir la transmutación de grandes cantidades de estos a oro o plata.*". En este sentido, parafraseando a Stillman se puede decir que una idea de estas características es de muy temprano origen, la idea de fermento nos lleva a pensar que actúa como la levadura, levantando la masa, o aumentándola, para así conseguir de pequeñas cantidades de sustancias, una cantidad mayor de oro o plata; aunque la naturaleza de esta sustancia es desconocida y parecen haber sido varias.

Las recetas sobre la transmutación de los metales

Los alquimistas exotéricos consideraron: "*los metales como cuerpos compuestos formados por dos principios comunes, el mercurio, que representaba el carácter metálico y la volatilidad, y el azufre que poseía la propiedad de combustibilidad*" (Babor, 1975). Parafraseando a Babor se puede decir que como una consecuencia inmediata de este pensamiento, surge la posibilidad para los alquimistas, de la transmutación de los metales innobles en nobles. Esta transmutación debía realizarse en presencia de la "piedra filosofal". Más adelante, alquimistas posteriores (350 d.C) produjeron un cambio de pensamiento respecto a lo anterior: "*El antiguo concepto de que los metales tenían alma se fusionó con la nueva idea que los metales estaban hechos de azufre y mercurio.*"

El azufre se identificaba entonces como el alma del metal, y el mercurio como su inteligencia” (Stillman, 1924).

Una receta del pseudo Demócrito dice: “Toma mercurio, fija con el cuerpo metálico de la magnesia o, con el cuerpo metálico de stimmi de Italia, o con apyre azufre (azufre nativo), o con selenita, o piedra caliza quemada, o con arsenicon, o lo que quieras. Ubica la tierra blanca, ya preparada, sobre el cobre o bronce, y tendrás cobre o bronce sin sombra, brillante. Agrega electrón amarillo y tendrás oro. El mismo resultado obtendrás si usas arsenicon amarillo o sandáraca debidamente tratado, y cinabrio completamente transformado. Pero el mercurio sólo produce el cobre sin sombra. La naturaleza triunfa sobre la naturaleza” (Stillman, 1924).

La intención de esta receta es muy clara. Es un proceso que intenta dar al cobre o bronce su color superficial de oro o plata usando una mezcla de arsénico o una mezcla de mercurio. En detalle es ambigua porque las sustancias usadas son mencionadas con términos que en realidad no tienen un significado definido para los antiguos. Así “la magnesia” o “cadmia”, que es un óxido de zinc impuro que contenía algo de plomo y óxido cúprico obtenido en la fusión de bronce, y el “cuerpo de magnesia” debería ser entonces zinc o plomo metálico haciendo mezclas blancas con cobre. La palabra italiana stimmi es el sulfuro nativo de antimonio y el “cuerpo metálico” de este debería ser antimonio metálico el cual como sabemos los antiguos consideraban una clase de plomo. El cinabrio totalmente transformado era probablemente, aunque no hay certeza de esto, mercurio metálico. Además, el arsénico amarillo (As_2O_3), era el sandaraka u oropimento.

De todas maneras lo que se buscaba en realidad era una fórmula que transformara al cobre o al bronce a expensas de la mezcla de las sustancias mencionadas en oro.

El electrón, era una aleación de oro y plata, era quien seguramente le daba a la mezcla el acabado final, con apariencia de oro. Se advierte que no todos los procesos daban el resultado esperado, ya que, por ejemplo, el mercurio no le daba al cobre el brillo necesario para asemejarse al oro. Es por esto, tal vez, que el pseudo Demócrito utiliza la frase “*la naturaleza triunfa sobre la naturaleza*”, queriendo decir quizás, que la naturaleza de la sustancia no podía ser cambiada tan fácilmente.

En otra receta, el mismo alquimista dice: “*blanquear de acuerdo al tratamiento de la cadmia de Chipre. Me refiero a lo que ha sido mejorado. Luego hacer esto amarillo. Puedes hacerlo amarillo con esencia de trementina, o aceite de ricino o rábano, o con la yema de los huevos, todas las sustancias lo volverán a esto amarillo. Luego aplicar la mezcla al oro. El oro se obtiene por medio del oro y el licor de oro. La naturaleza triunfa*

sobre la naturaleza" (Stillman, 1924).

La intención de esta receta parece haber sido el afán de dar un color oro con barnices amarillos, lo importante pareciera ser en realidad obtener de cualquier manera el color amarillo oro, que es a lo que probablemente se llama "*licor de oro*". Después sólo había que mezclar ese licor obtenido con los metales blancos; trámite que era en definitiva lo que los alquimistas nunca dejaron de intentar, volver oro a todos los metales conocidos siguiendo diferentes caminos. Se advierte nuevamente, como en la cita anterior, la frase final, que quizás sea empleada como una reafirmación del proceso cumplido satisfactoriamente para el alquimista.

Respecto a esta última reflexión y con el interés de poner claridad en la misma se puede hacer referencia a un escrito de Zósimo: "*Demócrito había nombrado los cuatro cuerpos metálicos, sustancias, significando al cobre, hierro, estaño y plomo. Cada cuerpo se emplea entonces en las dos tinturas de oro y plata, y todas las sustancias estaban sometidas a las dos tinturas. Todas las sustancias han sido reconocidas por los egipcios como producidos por sólo plomo, por ello es que desde el plomo los otros cuerpos se derivan. El (pseudo Demócrito) ha llamado entonces a las sustancias, materias resistentes al fuego, y a las no sustancias materias que no se le resisten. Verdaderamente las no sustancias son en cierta manera independiente del fuego. El dice que ellas son engendradas por la acción de aparatos y de combustión mientras que el verdadero residuo de la preparación originada fuera de la acción del fuego produce una tintura estable en blanco y amarillo. El uso de la preparación volátil obtenida por la flama destruye el amarillento de una mezcla defectiva de plomo y cobre en la que esto tiene lugar*". (Stillman, 1924).

Esto hace pensar que hay cierta familiaridad con los procesos de calentamiento como la combustión y la destilación y que, en base al comportamiento que las sustancias muestran ante estos procesos, son clasificadas en sustancias y no sustancias. Puede pensarse también que al ser cuatro el número de las llamadas sustancias, hay una relación con la teoría aristoteliana, a pesar que el pseudo Demócrito confiere mayor importancia a las sustancias metálicas, ya que de ellas se puede obtener oro. Esta vinculación con la teoría de Aristóteles se ve sostenida en la idea de los "opuestos" cuando dice: "*La naturaleza adquiere en sí misma la propiedad contraria a lo que es propio de lo sólido y lo permanente, dominante y dominado. Esto hace que adquiera en sí misma la cualidad sulfurosa la cual da su nombre al lago del sulfuro nativo Ello ha sido explicado como para líquidos despreciables, los productos son obtenidos con resistencia al fuego, pero los líquidos estos son el agua divina*" (Stillman, 1924). La oposición en propiedades de las sustancias: lo "dominante" y lo "dominado", da evidencias de cierto proceso clasificatorio en el cual el criterio comparativo se relaciona con la resistencia o no al fuego.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

Los alquimistas de los primeros tiempos del período greco-egipcio estaban interesados principalmente en descubrir pociones para producir oro (los alquimistas exotéricos), lo que se puso de manifiesto en varios de los ejemplos antes mencionados, o para salvar vidas (los alquimistas esotéricos). Persiguiendo estos objetivos, se produce en la historia de la química una importante actividad experimental, que en la época de los pensadores griegos había estado prácticamente ausente.

Lo que cambiaba en este período era que los primeros alquimistas tenían un objetivo más claro: el de producir oro. Esto se volvió característico de la época y los alquimistas en esta búsqueda realizan variadas transformaciones físicas y químicas caracterizadas por un fuerte contenido de hermetismo y misticismo. Esta particularidad desmerece, en cierta medida, el aporte de los alquimistas. Sin embargo no se puede desconocer ciertos nombres de sustancias como *stimmi*, usada para nombrar el sulfuro nativo de antimonio. Los procesos empleados, por ejemplo de calentamiento prolongado, permitieron a los primeros alquimistas mejorar aparatos empleados en los mismos. Estas mejoras, fundamentan lo que ahora es natural en un proceso químico realizado sin pérdida de masa. También se rescatan la identificación de las propiedades de alguna de las sustancias empleadas, tal es el caso del agua que era considerada una sustancia líquida y capaz de evaporar.

Sin duda alguna indagar los aportes de estas culturas es importante; la esencia de las cosas, sus primeros estadios de análisis, sus avances y retrocesos, permiten pensar que si bien es cierto no hay huellas que muestren una contribución perdurable en el tiempo, es imposible dejar de reconocer que todos los hechos considerados fueron posibilitando la constitución de los primeros aportes a los cimientos de la futura disciplina.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Babor, J., Ibarz, J. (1975). *Química General Moderna*. Buenos Aires: Editorial Marín.
- Berthelot, P. E. M. (1887). *Colección de antiguos alquimistas griegos*. Paris: Félix Alcan.
- Salzberg, H. (1991). *From Caveman to Chemist, Circumstances and Achievements*. Washington, DC: American Chemical Society.
- Stillman, J. (1924). *The Story of Alchemi and Early Chemistry*. New York: Dover Publications.

Informaciones y Novedades

LANZAMIENTO

NUEVO LIBRO PARA PROFESORES E INVESTIGADORES EN DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS: “CONOCIMIENTO DIDÁCTICO DEL CONTENIDO. UNA PERSPECTIVA IBEROAMERICANA”

M. Gabriela Lorenzo¹ y Andoni Garritz²

1. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Universidad de Buenos Aires. CONICET. Buenos Aires, Argentina.

2. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F., México.

E-mail: glorenzo@ffyb.uba.ar

Resumen. Presentamos el primer libro sobre Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) destinado a profesores, investigadores e interesados en didáctica de las ciencias en Iberoamérica. El texto se organiza en capítulos que abordan las principales características y desarrollos en el estudio del CDC en el contexto internacional y en el iberoamericano a cargo de reconocidos especialistas de la región. Se presentan avances en el estudio del CDC en química, física, biología y otros temas vinculados. Se espera que el libro colabore a construir un puente entre los investigadores, los profesores y las prácticas de aula.

Palabras clave. Conocimiento Didáctico del Contenido. Ciencias Naturales. Investigación en ciencias. Formación de profesores.

New book for Science Education teachers and researchers: “Conocimiento Didáctico del Contenido. Una perspectiva Iberoamericana” (Pedagogical Content Knowledge. An Iberoamerican View)

Abstract. The first Pedagogical Content Knowledge book for teachers, researchers and science educators in Iberoamerica is presented here. The book is organized in chapters that make focus on the main characteristics and development of diverse studies on PCK in the international and iberamerican contexts. Recognized specialists participated on its writing. Chemistry, Physics, and Biology Pedagogical Knowledge and related topics advances were regarded in this book. The book would contribute to bridge the gap among researchers, teachers and educative practices.

Keywords: Pedagogical Content Knowledge. Natural Sciences. Science Education Research. Teachers training

MUCHO SOBRE EL PEDAGOGICAL CONTENT KNOWLEDGE (PCK) Y MUY POCO SOBRE EL CDC

Habr  comenzado all  por 2008, o muy probablemente antes, a dar vueltas por nuestras mentes, la idea de poner al alcance de los lectores de habla hispana un modelo para tratar de aproximarse al estudio de las prácticas educativas, que si bien llevaba ya por lo menos un par de décadas en vigencia, no se había extendido demasiado en el contexto iberoamericano. Nos referimos precisamente, al Conocimiento Didáctico del Contenido (Shulman, 1986). Andoni Garritz fue uno de los primeros investigadores que abord  el tema para el contenido químico, ofreciendo la oportunidad a otros investigadores de la Didáctica de la Química a conocerlo a través de sus publicaciones en castellano y en inglés (Garritz y Trinidad, 2004, 2006; Garritz y Velázquez, 2007, 2009).

En esta misma revista han sido publicados dos artículos relacionados con el Conocimiento Didáctico del Contenido químico: Garritz y Trinidad (2005) y Farré y Lorenzo (2009).

Ese germen inquieto sobre la potencialidad del modelo y la necesidad de ponerlo sobre la mesa de discusión tanto para la investigación como para la formación de profesores, tuvo su primera expresión en el *VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias*, que se celebró en la ciudad de Barcelona en 2009, cuando Garritz y Lorenzo organizaron el *Simposio sobre "Avances iberoamericanos del conocimiento didáctico del contenido"*. En dos partes, para que todos los interesados pudieran participar: Parte I "*Teoría y afectividad*", y Parte II, "*Ejemplos de documentación*".

El primer paso había sido dado, pero todavía hacía falta tiempo.

UN LIBRO PARA EL CONTEXTO IBEROAMERICANO

Después de recorrer un largo camino, finalmente en 2014 se pudo concretar la publicación de un libro escrito por autores iberoamericanos para lectores iberoamericanos. En la obra participaron veintiún autores de reconocidas instituciones de seis países, como se muestra en el cuadro 1.

Cuadro 1. Países e Instituciones de pertenencia de los autores

País	Institución
Argentina	Universidad de Buenos Aires
	Universidad Nacional de La Plata
	Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina
Brasil	Instituto de Química da Universidade de São Paulo
	Universidade Estadual de Santa Cruz

Colombia	Universidad Pedagógica Nacional Grupo investigación INYUBA-GRECI, Universidad de la Paz Universidad Distrital Francisco José de Caldas
España	Universidad de Extremadura
Estados Unidos	Universidad de Arizona
México	Universidad Nacional Autónoma de México

En un total de catorce capítulos (cuadro 2), se recorren diferentes aspectos del Conocimiento Didáctico del Contenido. Se analizan y discuten los orígenes y naturaleza del modelo, las diferentes perspectivas de abordaje. Se plantean los avances y retrocesos en la investigación, los aportes del modelo para la formación de profesores y se analizan casos y ejemplos concretos de las grandes disciplinas que componen el área: química, física y biología, y algunos otros tópicos relacionados como por ejemplo matemática (Cap. 4) y el pensamiento complejo (Cap. 5).

Se plantea el debate de las diferentes traducciones al español del original en inglés *Pedagogical Content Knowledge (PCK)* y sobre la relación de este concepto con el de *transposición didáctica*. Se presentan también las líneas de vanguardia que vinculan al CDC con las progresiones de aprendizaje y con la afectividad.

Cuadro 2. Contenido del Libro

Capítulo	Título	Autores
1	¿Transposición didáctica o conocimiento didáctico del contenido o conocimiento pedagógico del contenido? "A rose by any other name". Un recuerdo de Sandy Abell	Andoni Garritz, Silvio Fernando Daza Rosales y María Gabriela Lorenzo
2	¿Qué es el CDC? ¿Cuáles son sus elementos fundamentales?	Andoni Garritz
3	El escurridizo conocimiento didáctico del contenido: estrategias metodológicas para su documentación	Andrea S. Farré y M. Gabriela Lorenzo
4	Conhecimento pedagógico do conteúdo: estado da arte no ensino de ciências e matemática	Carmen Fernandez e Luciane Fernandes de Goes
5	Aportes al CDC desde el pensamiento complejo	William Manuel Mora Penagos y Diana Lineth Parga Lozano
6	Aspectos histórico-epistemológicos en la formación de profesores y en la transposición didáctica	Rómulo Gallego Badillo, Adriana Patricia Gallego Torres y Royman Pérez Miranda
7	El CDC y la formación de profesores	Kira Padilla
8	Conocimiento didáctico del Contenido y Progresiones de Aprendizaje	Vicente Talanquer

9	El Conocimiento Didáctico del Contenido y la afectividad	Andoni Garritz y Vicente Mellado
10	Conocimiento Didáctico del Contenido en Física: El caso del Campo Eléctrico	Lina Viviana Melo Niño, Florentina Cañada Cañada y Vicente Mellado Jiménez
11	Documentación del Conocimiento Didáctico en uso en Clases Universitarias de Química Orgánica y Física	Andrea S. Farré, Ignacio J. Idoyaga y M. Gabriela Lorenzo
12	Conhecimento pedagógico do conteúdo: crenças e ações de uma professora de química em formação continuada	Luciana Passos Sá e Andoni Garritz
13	El conocimiento de la naturaleza de las ciencias: un tópico a tener en cuenta en el conocimiento pedagógico del contenido emergente o ecosistémico de la Biología	Silvio Fernando Daza Rosales y José Rafael Arrieta Vergara
14	La enseñanza de la meiosis en el nivel secundario: el conocimiento didáctico del contenido de profesores expertos y principiantes	Norma Viviana González y Alejandra María Rossi

Para finalizar, transcribimos el resumen que los editores incluyeron en la contraportada del libro, donde se sintetizan los objetivos y los aspectos más destacados de la obra. Creemos que es un texto que servirá como recurso para la formación de profesores, pero también llevará al debate y a la polémica, necesarios para seguir pensando, reflexionando e investigando sobre el desafío de enseñar ciencias.

Conocimiento Didáctico del Contenido

Los editores de este libro vamos a referirnos indistintamente a este constructo como «Conocimiento Didáctico del Contenido» o como «Conocimiento Pedagógico del Contenido». Se discute también si el concepto de «transposición didáctica» tiene que ver con los otros dos. Estamos convencidos que el CDC implica un modelo extremadamente útil de razonamiento y acción pedagógica, que es poderoso para: a) La formación de nuevos profesores; b) El estudio de las prácticas educativas para llegar a conocer un sistema complejo, multidimensional y dinámico: la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias; c) Conocer cómo los profesores excelentes transforman sus contenidos pedagógicamente, y así plantear qué es la buena enseñanza. Una breve resena de cada uno de los autores se presenta al final. En resumen, nuestros propósitos son: - Dar a conocer en español y portugués las principales características y desarrollos en el estudio del CDC en el contexto internacional e iberoamericano. - tender un puente de CDC hacia las profesoras y los profesores que diariamente enfrentan el desafío de enseñar ciencias naturales en un mundo cambiante y no siempre amigable para lo científico y lo tecnológico.



Andoni Garritz
Graduado de Ingeniería Química, Maestría y Doctorado en Ciencias Químicas. Labora en la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México. Tiene diez libros de texto y de divulgación publicados y más de una centena y media de artículos. Director de la revista Educación Química, que ha cumplido 25 años.



978-3-659-00562-6

editorial académica española



Andoni Garritz (Ed.) · M. Gabriela Lorenzo · Silvio F. Daza Rosales

Conocimiento Didáctico del Contenido

Una perspectiva Iberoamericana

RESUMEN DEL LIBRO

Los editores de este libro vamos a referirnos indistintamente a este constructo como "Conocimiento Didáctico del Contenido" o como "Conocimiento Pedagógico del Contenido". Se discute también si el concepto de "Transposición didáctica" tiene que ver con los otros dos. Estamos convencidos que el CDC implica un modelo extremadamente útil de razonamiento y acción pedagógica, que es poderoso para: a) La formación de nuevos profesores; b) El estudio de las prácticas educativas para llegar a conocer un sistema complejo, multidimensional y dinámico: la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias; c) Conocer cómo los profesores excelentes transforman sus contenidos pedagógicamente, y así plantear qué es la buena enseñanza. Una breve reseña de cada uno de los autores se presenta al final. En resumen, nuestros propósitos son: Dar a conocer en español y portugués las principales características y desarrollos en el estudio del CDC en el contexto internacional e iberoamericano. Tender un puente de CDC hacia las profesoras y los profesores que diariamente enfrentan el desafío de enseñar ciencias naturales en un mundo cambiante y no siempre amigable para lo científico y lo tecnológico.

Ficha Técnica	
Editores	Andoni Garritz (Universidad Nacional Autónoma de México, México) Silvio Fernando Daza Rosales (Grupo investigación INYUBA-GRECI, Universidad de la Paz, Colombia) María Gabriela Lorenzo (Universidad de Buenos Aires, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina)
Editorial	Editorial Académica Española
Lugar de publicación	Saarbrücken, Alemania
Año de edición	2014
Cantidad de páginas	525
ISBN	978-3-659-00562-6

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Farré, A. S. y Lorenzo, M. G. (2009). Conocimiento Pedagógico del Contenido: una definición desde la química, *Educación en la Química*, 15 (2), 103-113.
- Garritz, A. y Trinidad, R. (2004). El conocimiento pedagógico del contenido, *Educación Química*, 15 (2), 98-101.
- Garritz, A. y Trinidad, R. (2005). El conocimiento pedagógico del contenido: un vuelco en las creencias de los Profesores de Química, *Educación en la Química*, 11 (1), 3-17.

- Garritz, A. y Trinidad, R. (2006). El conocimiento pedagógico de la estructura corpuscular de la materia. *Educación Química*, 17 (X), 114-141.
- Garritz, A., y Velázquez, P. (2007). El conocimiento pedagógico de la biotecnología en investigadores universitarios y profesores del bachillerato, representado a través del perfil conceptual de Mortimer. IX Congreso Nacional de Investigación Educativa. Mérida, México. Disponible en la URL <http://www.comie.org.mx/congreso/memoria/v9/ponencias/at05/PRE1175949844.pdf>
- Garritz, A. y Velázquez, P. (2009). Biotechnology pedagogical knowledge through Mortimer's conceptual profile. 18 pages. *Proceedings of the NARST 2009 Conference*, Garden Groves, CA, USA, April 16th to 21th. Disponible en la URL http://garritz.com/andoni_garritz_ruiz
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15 (2), 4-14.

ADEQRA EN LA FERIA NACIONAL DE EDUCACIÓN, ARTE, CIENCIA Y TECNOLOGIA 2014

TECNÓPOLIS, Villa Martelli, Bs As del 8 al 14 de noviembre

La Asociación de Docentes en la Enseñanza de la Química premió con una **Mención** a los alumnos y profesores por la maravillosa tarea desarrollada en el **DISEÑO DE TABLA PERIÓDICA PARA LENGUAJE CON SEÑAS.**

El proyecto fue presentado por alumnos de 5to año de la Escuela Normal Gral. José de San Martín de San Pedro de Jujuy, con su profesora Marcela Beatriz Vera. Se originó por la presencia de Gabriel, uno de los alumnos, que es hipoacúsico y que asistió a la Feria Nacional acompañado por su intérprete y la profesora de Educación Especial Valeria Páez. Se sumaron a esta iniciativa el profesor Félix Zamora quien fue el creador del diseño informático de la tabla, y el director Antonio Flores. Los representantes de 5º año fueron Nadia Agustina Ayarde y Cristian Gabriel Porcel.



Los alumnos con sus profesores



Emoción al recibir la Mención



Los dos alumnos con la Prof. Páez y el Director Flores

Congresos, Jornadas y Seminarios de Aquí y Allá...

Informe elaborado por Dra Andrea Farré, Centro de Investigación y Apoyo a la Educación Científica, CIAEC, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad de Buenos Aires.

VIII CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGADORES EN EDUCACIÓN Y XIV CONGRESO NACIONAL DE INVESTIGADORES EN EDUCACIÓN.

Convergencias y divergencias en torno al fortalecimiento de la educación pública, la calidad y la gratuidad

Organiza la Universidad de Los Lagos de Chile, a través del Departamento de Educación y de la Escuela de Pedagogía.

Campus Osorno (Av. Fuchslocher 1305) Osorno, Chile, 8 y 9 de enero de 2015.

<http://inveduc.ulagos.cl/>

CONGRESO IBEROAMERICANO DE EDUCACIÓN. Educación Científica y Ciudadanía en el siglo XXI VIII CONGRESO IBEROAMERICANO DE EDUCACIÓN CIENTÍFICA

II CONGRESO INTERNACIONAL DE PEDAGOGÍA, DIDÁCTICA Y TIC APLICADAS A LA EDUCACIÓN

Organiza la Cátedra UNESCO de Educación Científica para América Latina y el Caribe de la Universidad de Alcalá, España

Bogotá. Colombia, 19, 20 y 21 de Mayo del 2015

Fecha límite para recepción de resúmenes: 30 de Enero de 2015

Fecha límite de recepción de trabajos completos ponencia y/o póster para el congreso: 21 de abril de 2015

<http://www.cieduc.org/2015/index.html>

V CONGRESO NACIONAL E INTERNACIONAL DE ESTUDIOS COMPARADOS EN EDUCACIÓN.

Educación y Futuro. Debates y desafíos en perspectiva internacional

Organiza la *Sociedad Argentina de Estudios Comparados en Educación (SAECE)* Facultad de Medicina de la Universidad de Buenos Aires, 24 al 26 de junio de 2015.

Fecha límite para la presentación de resúmenes y trabajos: 15 de marzo de 2015.

Inscripción Previa: hasta el 31 de mayo de 2015

<http://www.saece.org.ar/congreso5.php>

VII ENCUENTRO INTERNACIONAL SOBRE APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO

V ENCUENTRO IBEROAMERICANO SOBRE INVESTIGACIÓN EN ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Organizado por el Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias (PIDEC) de la Universidad de Burgos y la Revista Investigações em Ensino de Ciências (IENCI) de la Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Universidad de Burgos, España, 20 al 24 de julio de 2015

Fecha límite para la presentación de trabajos: 31 de enero de 2015

http://www.if.ufrgs.br/ienci/uploaded/VII_EIAS_V_EIBIEC_Primer_Circular.pdf

13TH BIENNIAL IHPST (International History, Philosophy and Science Teaching Group) CONFERENCE

Organiza El Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ), Rio de Janeiro, 22 al 25 de julio 2015.

Fecha límite para la presentación de resúmenes: 28 de febrero de 2015.

Consultas e informes: 13ihpstrio2015@gmail.com

<http://conference.ihpst.net/>

16TH BIENNIAL EARLI CONFERENCE FOR RESEARCH ON LEARNING AND INSTRUCTION

Towards a Reflective Society: Synergies Between Learning, Teaching and Research

Organizada por Cyprus University of Technology (CUT)

Limassol, Chipre, 25 al 29 de agosto de 2015

<http://www.earli2015.org/>

ESERA 2015 CONFERENCE.

Science Education Research for Evidence-based Teaching and Coherence in Learning

Organizado por University of Helsinki

Helsinki, Finlandia, 31 de agosto al 4 de setiembre de 2015

Fecha límite para la presentación de propuestas (improrrogable): 31 de enero de 2015 (24h00 Central European Time, GMT+1).

<http://www.esera2015.org/>

REF19

Física entre Todos

Organizado por la Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad de Buenos Aires y Asociación de Profesores de Física de la Argentina

Buenos Aires, 28 de setiembre al 2 de octubre de 2015

<http://ref19.apfa.org.ar/>

IX JORNADAS DE ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA UNIVERSITARIA, SUPERIOR, PREUNIVERSITARIA Y TÉCNICA

Organizadas por la División Educación de la Asociación Química Argentina
Se realizarán la primera quincena de Noviembre 2015, en la sede de AQA, B. Aires
Se invita a interesados en dictado de talleres u otras actividades relevantes a contactarse con la
División Educación de la AQA: lydia.galagovsky@gmail.com

III SIMPOSIO INTERNACIONAL DE ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS SIEC 2016

Organizado por la Universidad de Vigo
Un congreso virtual (online) sobre el futuro de la enseñanza de las ciencias
13 a 16 de junio 2016
<http://siec2016.webs.uvigo.es/>

REQ XVII

Organizada por ADEQRA y la Universidad Nacional del Chaco Austral

Presidencia R:Saenz Peña, Chaco.

12, 13 y 14 de agosto 2015

En breve se enviara la primera circular

Pedido de aportes: Si los lectores han participado de algún evento
y quieren reseñarlo o si quieren difundir alguna reunión científica,
pueden escribir a asfarre@ffyb.uba.ar

Editorial

- El rol de las revistas científicas en la enseñanza de las ciencias: revista Edenaq en el mundo
M. Gabriela Lorenzo 81

Nueva sección

- Conociendo a la comunidad de investigadores en Didáctica de las ciencias
Entrevista al Dr. Bruno Ferreira dos Santos 91

Para profundizar

- Sobre el origen de los isómeros, tautómeros, la resonancia y las estructuras contribuyentes
Sara Noemí Mendiara y Luis José Perissinotti 94

Para reflexionar

- Análisis de las competencias argumentativas en alumnos universitarios sobre el tema cambios de estado de la materia
Carlos Alberto Avalis, Héctor Santiago Odetti, José Rafael Rafaelli 119

Ideas para el aula

- Enseñar estequiometría con analogías: desarrollo de una secuencia didáctica.
Andrés Raviolo, Gabriela Lerzo y Nancy Piovano 129

De interés

- Puesta a prueba de una unidad didáctica dentro del enfoque de Química en Contexto
Martín Pérgola, Lydia Galagovsky..... 143
El Premio Nobel de Química 2014..... 156

Un poco de historia

- Alquimia, los primeros pasos de la química
Ofelia Dora Galarza 166

Informaciones y novedades

- Nuevo libro para profesores e investigadores en didáctica de las ciencias: “Conocimiento didáctico del contenido. Una perspectiva iberoamericana”
M. Gabriela Lorenzo y Andoni Garriz..... 176
Adeqra en la Feria Nacional de Educación, Arte, Ciencia y Tecnología 2014 182
Congresos, Jornadas y Seminarios de Aquí y Allá...
Andrea Farré 184