

METL1

Papeles del Seminario
de Investigación Educativa



Facultad de Química
UNAM

Primera edición 2006

D.R. © **Universidad Nacional Autónoma de México**

Ciudad Universitaria, 04510, México, D.F.

FACULTAD DE QUÍMICA

ISBN 970-32-3322-9

Diseño y formación

Yosune Chamizo Alberro

Edición

El Escriba Ediciones/Federico Martínez Delamain

Impreso y hecho en México

Presentación

Desde hace muchos años hay en la Facultad de Química personal con experiencia probada en la investigación educativa, ya sea por su pertenencia al Sistema Nacional de Investigadores (en el área de Humanidades), al COMIE (Consejo Mexicano de Investigación Educativa), o por tener un posgrado en educación y una inequívoca y reconocida trayectoria en este terreno. Sin embargo, sus actividades habían sido esporádicas y poco sistematizadas.

A partir de la integración del Seminario de Investigación Educativa, en el año 2002, un grupo de académicos con algunas de las características antes mencionadas nos dimos a la tarea de unir lo que parecía estar separado. Lo primero fue iniciar una serie de seminarios mensuales sobre los temas que parecían más relevantes. A este primer esfuerzo de reflexión compartida le siguieron varias acciones que es pertinente destacar:

- Diseño e impartición del Diplomado de Química para profesores del bachillerato universitario y que depende de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM.
- Diseño e impartición de la Maestría en Docencia para la Educación Media Superior, MADEMS-UNAM.
- Organización y participación del Simposio Internacional sobre la Enseñanza Experimental (2004).
- Traducción y publicación del libro de Vanesa Kind *Más allá de las apariencias. Ideas previas de los estudiantes sobre conceptos básicos de química*, en coedición de la Facultad de Química-UNAM con editorial Santillana, de 157 pp., ISBN-970-29-1232-6, 1ª ed., 2004, 1ª reimpresión (SEP, Biblioteca para la actualización del maestro, 25 000 ejemplares).
- Participación con artículos en la Sección de Aniversario de *Educación Química*, vol. 15, núms. 1, 2 y 3; vol. 16, núm. 2

A través de sus integrantes, el Seminario recibió la ayuda del Programa de Apoyo a Proyectos Institucionales para el Mejoramiento de la Enseñanza (PAPIME) por medio del proyecto EN207103. A ese apoyo se debe la publicación del presente texto después de la aprobación del mismo por el Comité Editorial de la Facultad de Química. Así, en esta primera ocasión se presentan los escritos de algunos de los seminarios impartidos en los años 2004 y 2005, los cuales consideramos conveniente compartir con los docentes interesados en los temas educativos de nuestra institución. Esta publicación se distribuirá adicionalmente a las bibliotecas de las facultades y escuelas de

Química presentes en la ANFEQUI, y del bachillerato nacional a donde se enviarán asimismo algunos ejemplares para su revisión por parte de los profesores interesados.

La palabra náhuatl *metl* designa al maguey y al papel que se prepara de esta planta. El papel fue un material muy utilizado en el México prehispánico; con este nombre hemos querido recordar parte de nuestra herencia. He aquí pues una colección de “papeles” entre los que no existe una ligazón estricta. Este libro es más una antología que un texto continuo.

Dos de ellos, los de Gómez Moliné y Rius, son reflexiones sobre la educación universitaria en lo general, es decir, no tienen como sustento la educación química en lo particular. No obstante, la reflexión resulta muy interesante, tanto la relativa al tema de la creatividad, como la del correspondiente a las transformaciones recientes de la visión de la educación universitaria.

El de García Franco y Flores tiene más bien sentido para la enseñanza en el nivel de secundaria o el de bachillerato, y se enfoca al desarrollo de las diversas teorías de cambio conceptual, al hacer patente la necesidad de profundizar e incrementar las investigaciones sobre cómo aprenden ciencias los estudiantes, sobre la efectividad de poner en práctica nuevos enfoques y, sobre todo, desarrollar nuevos modelos o teorías que permitan una mejor aproximación a las variaciones posibles del aprendizaje.

Los otros cuatro trabajos sí tienen como sustento la educación de la química. El de Bello apunta al desarrollo de una investigación que sigue en curso sobre las diversas concepciones estudiantiles acerca del tema del enlace químico; el de Sosa apunta a recapacitar sobre puntos que parecen ser esenciales para la educación química, pero para los cuales hay todavía muy diversas interpretaciones y formas de enseñarlos; el de Chamizo introduce la complejidad del término “modelo”, con sus diversas facetas e interpretaciones, se trata de un capítulo de intensa reflexión sobre la relación entre la filosofía de la ciencia y la educación química; finalmente, el de Garritz y Trinidad versa sobre el candente tema del conocimiento pedagógico del contenido, orientado a la educación química, en lo particular.

Esperamos que la lectura de cada uno de estos trabajos por personal académico de la Facultad y de otras dependencias de diversas universidades sea también punto de partida para una reflexión provechosa.

José Antonio Chamizo
Andoni Garritz

Índice

| | |
|--|-----|
| Pilar Rius | |
| La educación terciaria, ¿hacia dónde? | 9 |
| Margarita R. Gómez Moliné | |
| Reflexiones sobre creatividad | 21 |
| Alejandra García y Fernando Flores | |
| Investigación en enseñanza de las ciencias: de las concepciones alternativas a las representaciones múltiples. | 31 |
| Andoni Garritz y Rufino Trinidad-Velasco | |
| El conocimiento pedagógico del contenido: la importancia de las creencias de los profesores de química | 47 |
| José Antonio Chamizo | |
| Química dialéctica. Sobre aprendizaje, modelos y realidad | 66 |
| Silvia Bello | |
| ¿Qué cambia y qué permanece en el aprendizaje del enlace químico en nuestros estudiantes? | 82 |
| Plinio Sosa Fernández | |
| Buscando coherencia en la estructura básica de la química. Una propuesta pedagógica | 97 |
| Los autores | 107 |

La educación terciaria, ¿hacia dónde?

Pilar Rius

Introducción

Abordar el estudio del futuro de la educación superior con una pregunta no es un buen comienzo; es como si la suerte de nuestra educación no dependiese de nosotros; como si algún destino inexorable encauzase nuestras universidades por caminos que no hemos previsto, ni menos trazado.

Sin desconocer las interrogantes que, en el plano nacional y en el internacional, se presentan a la hora de diseñar modelos en materia de educación a cualquier nivel, en este tercer milenio, las instituciones de educación superior del país están atentas a las oportunidades de crecimiento que se presentan en la evolución de las relaciones internacionales, de los medios de comunicación y de los avances en informática.

En la aspiración de contribuir a la construcción de ese futuro de la educación superior que hoy se ve incierto, se presentan algunas tendencias de países del mundo desarrollado y de América Latina, con énfasis en México. Se analizan algunos de los factores internos y externos que seguramente afectarán en el corto y mediano plazo el devenir de la educación terciaria en el país.

La educación superior desde nuestra particular perspectiva

En estos primeros años del nuevo siglo, tenemos la sensación incómoda de que el país se nos escapa de las manos y se enfrenta a un futuro incierto; que lo poco que puede preverse, no es del todo bueno. Es natural que el futuro de la educación superior, que es una de nuestras fortalezas indiscutibles, no escape a esa inquietud.

Las estadísticas nos dicen que seguimos bajando en la escala internacional de desarrollo económico; en los índices relativos a la eficacia de la educación básica México ocupa lugares muy poco satisfactorios. Se encuentra ubicado en el lugar 30 de los países miembros de la OCDE en cuanto al gasto por alumno en educación terciaria (datos de 2000), apenas arriba de los tres últimos lugares en la lista de este grupo de países que son: Turquía, Grecia y Polonia. Estados Unidos, que ocupa el primer lugar en este indicador, gasta 4.34 veces más por alumno, de lo que gasta México (Hernández Pérez, 2005).

Estos datos son motivo de seria preocupación; se necesita revertir ese pobre desempeño y revisar en qué medida las instituciones de educación superior hubieran podido evitar o minimizar el deterioro, de haber mantenido con mayor firmeza, y aplicado con mayor eficacia, las funciones, los principios y los valores que le son sustantivos.

En lo interno: en las últimas tres o cuatro décadas ¿hemos hecho como universitarios, como académicos, como profesionales, como investigadores, como administradores de la educación superior, toda la tarea? ¿La hemos hecho bien? Dice Francisco Giral: “ los países están en el lugar en el que lo colocan sus universidades” (Giral, 1978). Entonces, ¿hemos colocado los universitarios al país en el lugar decoroso que debe ocupar, en materia de equidad, de justicia social, de desarrollo y de educación?

Evidentemente, no. Hay que asumir la parte de responsabilidad que le corresponde al sistema de educación superior, pero también hay que aceptar que algunos rubros, como la educación básica, la equidad cultural, de género y la justicia social, por mencionar sólo algunos, han rebasado la capacidad de respuesta de las universidades.

De cara al futuro de la educación superior; al futuro que queremos construir, y no el que nos vuelvan a deparar los hados, es necesario hacer algunas reflexiones relativas al pasado, para poder dejar atrás los descuidos y omisiones.

Así, por ejemplo, no es rentable suplir las carencias de la educación básica, aceptando en el sistema de educación media y superior a estudiantes que no tienen la preparación adecuada, lo que compromete la calidad de la educación terciaria. Es necesario establecer criterios realistas de admisión al sistema de educación media y superior.

Tampoco es aconsejable, intentar remediar esta situación con planes precipitados, sin un diseño acabado, sin la infraestructura necesaria, sin capacitar a los participantes y sin los cuidadosos mecanismos de evaluación que se necesitan para llevar a cabo estos planes exitosamente.

No aprovechar al máximo a nuestros académicos y no colocarlos en sus ámbitos específicos de mayor competencia, es un error que estamos pagando a muy alto precio. Así como no evaluar con justicia el desempeño a lo largo y ancho de todo el proceso docente, no fomentar el trabajo colegiado de los académicos y subsidiar explícita o veladamente, la investigación a costa de la docencia.

Las instituciones que no tienen ideas claras acerca de la equidad, están expuestas a no ser equitativas, ni con los docentes, ni con los estudiantes, ni con los administrativos ni por último con la propia institución y la sociedad.

El diseño de alternativas eficaces y atractivas a la educación universitaria no puede postergarse. No deben repetirse actitudes del pasado inmediato como no prestar suficiente

atención a las tendencias del proceso de enseñanza-aprendizaje centrado en el estudiante, o no haber desarrollado en los estudiantes la capacidad para el aprendizaje durante toda la vida así como la creatividad para generar sus propias fuentes de trabajo.

De cara a las tendencias mundiales

Tendencias de la educación superior en algunos países desarrollados

Los anteriores son algunos de los desafíos internos que la educación superior del futuro tendrá que resolver, en el país. Respecto a los factores externos que la afectarán en mayor o menor medida, las siguientes serían, a grandes rasgos las tendencias de la educación superior en las regiones del primer mundo y en Latinoamérica.

La Unión Europea (Bolonia, 1999; UNESCO, 2004; OECD, 2004) está interesada en los siguientes aspectos: la movilidad laboral y académica; profesores, investigadores y estudiantes, a través de la homologación de las carreras y posgrados, así como de proyectos compartidos en materia de investigación. Siguen la diversidad estudiantil derivada de las migraciones y la atención a la tercera edad.

La Declaración de Bolonia que, no obstante las discrepancias y ajustes en los países de la Unión, resume la postura europea de cara al futuro de la educación superior, expresa que:

La independencia y autonomía de las universidades asegura que la educación superior y los sistemas de investigación se adapten al cambio, a las demandas de la sociedad y a los avances del conocimiento científico.

Es necesario asegurar la comparabilidad y compatibilidad de los sistemas de educación superior, y la competitividad internacional del Sistema Europeo de Educación Superior.

La vitalidad y eficiencia de cualquier civilización puede medirse por el atractivo que esta cultura genera en otros países; necesitamos asegurarnos de que el Sistema de Educación Superior Europeo adquiera un grado universal de atracción, igual a nuestra extraordinaria tradición cultural y científica.

La UE destaca las tradiciones culturales, el respeto a la diversidad y enfoca la penetración en otras regiones “por la atracción que sean capaces de inducir”. Asimismo la UE está interesada en la compatibilidad y homologación a nivel internacional de los sistemas de educación superior, y también de la colaboración entre las instituciones. En términos generales, los europeos están

interesados en la cooperación internacional en materia educativa (Programas Erasmus y Sócrates), pero no consideran que las nuevas modalidades de aprendizaje digital sean las que eliminen las fronteras entre los países, sino la movilidad estudiantil y académica, así como la colaboración interinstitucional, aunque la colaboración entre instituciones de evaluación y acreditación a través de redes formales e informales constituye un instrumento fundamental para introducir la cultura de la internacionalización (Sebastián, 2005).

España, con la cual Latinoamérica ha establecido recientes convenios en materia de educación (*Gaceta UNAM*, 27 de junio, 2005) se preocupa por la reducción del número de carreras (Pérez de Pablos, 2005) y por el recorte de las asignaturas de contenido humanístico (Savater, 2005); en éste y otros sentidos, algunos de los acuerdos de Bolonia todavía están en discusión. Estados Unidos de Norteamérica tiene algunas propuestas acerca del empleo de la tecnología digital para la educación de todo el mundo, en todo el mundo, durante todo el tiempo, utilizando como principal herramienta la mercadotecnia de la educación superior para el consumo interno e internacional y el desarrollo acelerado de la educación a distancia. De igual manera tiene algunas preocupaciones al respecto: el desinterés de la juventud por el estudio, el desarrollo de la investigación, a gran escala, la desregulación del sistema universitario, y el mejoramiento de la propia investigación educativa, entre otras (Parker, 2005, Adam, 2001).

Si el conocimiento se ve como riqueza, la economía orientada al mercado determina el valor del conocimiento por su rentabilidad, incluida la educación superior: los estudiantes se vuelven clientes; en las universidades se habla de *marketing* y la educación se dirige a la elite que la puede pagar.

En uno de los documentos consultados (Parker, 2005) se plantea: ¿Pueden las universidades encabezar un sistema global de aprendizaje que provea educación para todos, bajo esas condiciones? Y de esa manera: ¿propiciar la creación de nuevos mercados que favorezcan la economía global en países pobres para que obtengan ingresos suficientes que les permitan introducirse en el mercado mundial? Estas interrogantes invitan a la reflexión.

En Japón se diseñan las políticas de educación superior en concordancia con los mecanismos de mercado. El sistema modifica los planes de estudio de acuerdo con el comportamiento de los procesos económicos, y los ofertantes de empleo valoran la disciplina y los métodos de trabajo más que los conocimientos. Esperan de sus empleados que se adapten a las técnicas y modos de la empresa. En las sucursales del extranjero los japoneses suelen ocupar los puestos administrativos de tipo gerencial y, en menor proporción las tareas de producción y servicio. En 1994 sólo 25% de

la población japonesa entre las edades de 19 y 24 años se encontraba en el Sistema de Educación Superior (Ramírez Bonilla, 1998).

En una síntesis un poco cruda, en estas dos últimas regiones la educación superior está fuertemente asociada a la mercadotecnia, en el caso de EUA se propone la mercadotecnia de la educación, como recuso para extender sus beneficios, y en Japón, la educación superior se pone al servicio de la mercadotecnia.

América Latina

En América Latina, el panorama tiene otras vertientes; la región gasta 5.5 % del total mundial en educación y tiene menos de 4% de los ingenieros y científicos trabajando en labores de investigación y desarrollo, 1% de los portales de Internet y las patentes latinoamericanas registradas en oficinas de EUA llegan apenas a 0.2% (Brunner, 1999).

En la actualidad se establecen con países de la UE las bases de un convenio en materia de educación superior con el modelo europeo en el sentido de fomentar la cooperación entre los países, la homologación de los créditos (Haugh, 1999), la educación a distancia, los contenidos y la movilidad de académicos y estudiantes, sin renunciar a las funciones tradicionales de vigilancia y denuncia en materia de equidad, de justicia social y de atención a los marginados (UEALC, 6X4), (*Gaceta UNAM*, del 27 de junio, 2005).

Algunos factores que afectan el desarrollo de la educación en el mundo

La abundancia de información

La humanidad tiene hoy herramientas poderosas de información, transmisión del conocimiento y comunicación; lo que se necesita son los contenidos seleccionados, filtrados, adecuados que comunicar y los mecanismos eficaces, incluida la abundancia de recursos humanos capacitados, para el buen uso de esas herramientas y redes de disciplinas.

La educación superior del futuro, inconcebible sin el entrenamiento en los recursos de la informática, tiene que mantener, no obstante, el viejo paradigma en materia de economía de la información (Ortega, 1930) que hoy resulta más necesario y de mucho más difícil cumplimiento que en el pasado.

La enorme cantidad de información que se genera en todo el mundo es, cada vez más, un problema global que se perfila no sólo en el exterior, sino en el interior del cerebro. Esta explosión es un desafío para todas las universidades del mundo que enfrentan el manejo de océanos de datos, para organizarlos y transformarlos en conocimientos y saberes que sean de utilidad en el aprendizaje.

En las conclusiones del EIES (Espacio Iberoamericano de Educación Superior e Investigación (Gaceta UNAM, del 27 de junio, 2005)) se destaca:

[...] la importancia de extender, profundizar y dar un sentido de equidad a la enseñanza, con el auxilio de los nuevos modelos en los que se incorporen tecnologías educativas, además de propiciar el desarrollo y apropiación de estos instrumentos, redes telemáticas, plataformas y herramientas comunicativas.

En México estamos todavía lejos de un aprovechamiento cabal de la tecnología digital; algunos intentos de extenderla a comunidades de aprendizaje no han tenido el éxito que se esperaba; por otra parte, la competencia en la oferta de cursos en Internet, a nivel mundial es muchas veces abrumadora e implacable y no garantiza el éxito en el mejoramiento de la educación superior.

La globalización orientada al mercado

La mercadotecnia aplicada a una educación superior orientada al mercado, en la cual, una elite particular de vendedores, investigadores y diseñadores decide lo que es mejor para el estudiante y docente, cuyas necesidades, en el fondo, ignoran, es ya una práctica establecida en algunos países — en México pueden encontrarse ejemplos en algunas instituciones del sector privado—. Es previsible que, en poco tiempo, se extenderá en los países desarrollados, con las limitaciones impuestas por las necesidades de homologación y movilidad en el caso de la UE y, mucho más despacio y más acotada en los países en desarrollo de Latinoamérica, por la fortaleza y vigencia de sus centros educativos y por la tradición de compromiso social de las instituciones del sector público.

Multiculturalismo y diversidad

La necesidad de ofrecer alternativas de educación diferenciada es hoy una situación que enfrenta la mayor parte de las instituciones educativas de todo el mundo, como consecuencia de las migraciones, del incremento del promedio esperado de vida, de la pobreza extrema de algunos

sectores de la población, del éxodo por razones políticas y sociales de países en crisis y, de manera general, de algunos de los efectos, previstos o no, de la espiral de la globalización. La preocupación por establecer programas de educación diferenciada en universidades de todo el mundo es consecuencia de las diferencias culturales, étnicas, raciales, socioeconómicas, académicas o religiosas, o bien de combinaciones de varios de estos factores en los estudiantes de un mismo nivel en una institución. En la literatura se encuentran abundantes referencias en lo relativo a educación y minorías, bajo los rubros de: Equidad, Acción afirmativa, Educación de mujeres, Diversidad, Multiculturalismo, Educación de minorías, Estudios étnicos, Programas compensatorios, Población estudiantil minoritaria: inmigrantes, mujeres, negros, chicanos, asiáticos, hispanicos, desaventajados, discapacitados, y otros más. En materia de educación superior, las universidades han dejado de ser, en unas pocas décadas, centros educativos para una población local, de clase alta y media acomodada, y se han visto obligadas a atender las demandas de sectores con diferencias culturales, étnicas, sociales, económicas y lingüísticas, incluidas las de género. Los gobiernos y la iniciativa privada ofrecen, en todo el mundo, programas de apoyo para estudiantes que no cumplen —por razones de origen diverso— con las exigencias establecidas para el ingreso a las universidades (Rius-Garritz, 2004).

Se ha de asumir además, que la estrategia para proveer conocimiento y aprendizaje, especialmente para los desfavorecidos, no puede separarse del cuidado de la salud, la malnutrición, la pobreza, la inequidad y la injusticia. Los estrategias tienen que considerar también que la malnutrición, la pobreza, la inequidad y la injusticia desmantelan cualquier estrategia de aprendizaje.

Educación a distancia

No existe un verdadero sistema de enseñanza a distancia, para proveer enseñanza a todos los estudiosos de todo el mundo durante toda su vida, pero sí existen redes poderosas de comunicación; ahora lo que se necesita son contenidos estructurados y sistematizados.

Para desarrollar y planificar contenidos disponibles para todo el mundo habrá que convocar especialistas en comunicación, docentes y administrativos así como establecer sistemas de acceso que contemplen no solamente contenido, sino también la dimensión social del aprendizaje.

Una estrategia y un sistema global de educación a distancia requieren de una investigación que comprometa a todas las naciones, en un sentido mucho más ambicioso y profundo, en filosofía, contenidos y recursos, que los que hasta ahora se han destinado a ese fin. Y que reconozca la diversidad, promueva la equidad y respete las culturas y las tradiciones de todas las regiones.

Todavía no existen fondos para la creación de una amplia biblioteca global en red, pero a través del cruce de información de los cursos que se ofrecen en Internet se pueden crear bibliotecas digitales que lleguen a todo el ámbito del orbe.

¿Qué podemos anticipar?

Los factores del inciso anterior afectan hoy el presente y el futuro de la educación superior en México, para bien o para mal, en mayor o menor grado, y habrán de ser considerados a la hora de atender a las legítimas demandas de la sociedad y a las exigencias que plantea, en materia de educación, nuestra aspiración al pleno desarrollo del país.

Demanda de educación superior

La educación es un proceso de toda la vida, la comunidad académica mundial debe estimular el pensamiento creativo hacia la propuesta de alternativas para que todos en este mundo tengan una opción de todos los estudios, a todas las edades y en todas las situaciones, con énfasis en el papel central de las universidades en la construcción de los sistemas de educación en el siglo XXI.

Declaración de la UNESCO 1997:

El aprendizaje durante toda la vida es esencial para que cualquier país o región alcance el nivel necesario de desarrollo social sostenible y ambientalmente sano, una creatividad cultural nutrida por un mejor entendimiento de la herencia cultural, mayores estándares de vida y una armonía interna e internacional, basadas en los derechos humanos, la tolerancia, el respeto mutuo, y una libertad académica que tome en cuenta la necesidad de atenerse a las reglas de la ética y del rigor científico e intelectual.

En materia de demanda de educación superior, la mitad de la población mundial en el corto plazo tendrá menos de 20 años, por otra parte la esperanza de vida está en constante aumento. En la actualidad existen en el mundo mil millones de jóvenes que deberían estar en el sistema de educación superior y que no tienen la más mínima posibilidad de acceder a ella.

En México, los esfuerzos en los últimos años han ido encaminados en el sentido de aumentar la cobertura en este nivel educativo cuyo crecimiento en las tres últimas décadas ha sido significativo. En 1970 seis de cada cien jóvenes en edad de cursar educación superior estaba matriculado en una universidad. De 1990 a 1995 la tasa de cobertura pasó a 15%. Para el año 2000

la cobertura alcanzada equivale a que uno de cada cinco jóvenes en edad de estudiar en el nivel educativo superior se encuentre matriculado. Así tenemos que, en el ciclo 2004-2005 la tasa de cobertura de este nivel fue de 22.3%, lo que significa que cerca de 8 millones de jóvenes del grupo de edad de 19 a 23 años no tienen acceso a este nivel educativo.

La meta a cumplir en 2006 por el gobierno según el Programa Nacional de Educación 2001-2006 (Plan Nacional de Desarrollo 2001-2006) es:

[...] lograr que la matrícula escolarizada de técnico superior universitario y licenciatura represente una tasa de atención de 28% del grupo de edad de 19 a 23 años. [Y] atender a 2 800 000 alumnos en modalidad escolarizada [para el nivel educativo superior]. [Es decir], lograr que en el 2006 la matrícula de técnico superior o profesional asociado sea de 150 000, la matrícula en posgrado sea de 210 000 y una matrícula de 2 440 000 alumnos de nivel licenciatura para dicho año (SEP, 2001).

El rezago en la cobertura del nivel de educación superior es más evidente cuando se compara con otros países, incluso con características similares de desarrollo a nuestro país. Por ejemplo, Estados Unidos tiene una tasa de cobertura de cuatro a uno respecto a la tasa de México. Países latinoamericanos como Argentina y Chile doblan la tasa de cobertura de nuestro país en poco más de dos a uno. Y otros países como Perú y Venezuela también están por arriba (Hernández Pérez, 2005).

Reflexiones finales

De la información presentada se concluye que es necesario ampliar la oferta en las universidades, pero también presentar opciones atractivas de educación tecnológica, en artes y oficios para que las universidades no sean la única alternativa de formación profesional de la juventud.

Las universidades pueden proponer y exigir la puesta en operación de soluciones a los problemas sociales, entre ellos, la creciente demanda de educación superior, la explosión demográfica por aumento de la natalidad o por migraciones, y el incremento de la esperanza de vida.

La migración y el aumento de la esperanza de vida representan un reto más serio en el Primer Mundo; aunque en América Latina se presentan ambas situaciones, el problema cuya solución es impostergable es todavía, por mucho, debido a factores económicos y culturales específicos, la educación de la juventud.

En relación con las soluciones holísticas que han ido ganando terreno, independientemente de la orientación de la educación superior en diferentes latitudes, es claro que los problemas fundamentales de la humanidad están interrelacionados; tanto en materia de educación como en otras materias. La humanidad tiene que encontrar soluciones holísticas, transdisciplinarias y, sobre todas las cosas, equitativas y justas.

Los problemas y las crisis no pueden resolverse por separado; el trabajo en equipos de personas con diversas formaciones, culturas y prioridades es necesario para enfrentarlos con una visión amplia; es claro que las iniciativas que se necesitan tendrán que construirse en, y salir de, las universidades.

Aún así, toda planificación educativa de carácter holístico tiene que empezar por admitir que existe cierta ignorancia acerca de situaciones no previstas, de las necesidades que surgen de contextos y culturas que se desconocen; hecho éste de extraordinaria importancia, a la hora de diseñar políticas educativas.

Debemos ser humildes frente a las dimensiones del espacio exterior e interior de los hombres, que apenas empezamos a explorar; frente al avance de la tecnología que se desarrolla a un ritmo que difícilmente podemos alcanzar.

Los académicos de los países en desarrollo tenemos una ventaja sobre los del Primer Mundo; no sentimos que nos corresponde dirigir los destinos de la humanidad en materia de educación —ni en ninguna otra materia— y estamos abiertos a aprender y a aprovechar las oportunidades y los recursos a nuestro alcance.

¿Cómo incorporarnos al mundo desarrollado, en lo que nos va a favorecer, a nuestro ritmo particular y sin perder esa sensibilidad que nos hace, hoy, más evolucionados, más atentos a la diversidad, más comprometidos con la equidad, más solidarios y más humanos que muchos de los académicos que establecen las políticas educativas en el Primer Mundo, a las cuales, no obstante, pudiera convenirnos acceder?; En qué medida, los países que no tienen ni los recursos, ni la infraestructura, ni la administración, ni la composición social, ni la exigencia ciudadana que se necesitan para “educar a todos”, pueden, en la práctica, utilizar con provecho los beneficios de la tecnología digital, acaso económicamente accesible —se pueden comprar máquinas y establecer redes—, pero en los cuales no existe la cultura del autoaprendizaje ni la planta docente capacitada para ayudar a todos los que necesitan y quieren aprender?

Con todo lo que tiene de complicado el empleo de los recursos digitales, hay que aceptar que el viejo paradigma educativo de transferir la información a las mentes pasivas de los que aprenden lo que se les enseña, debe dejar paso, en un plazo razonable al dominio tecnológico,

que se necesitará en el futuro para obtener y procesar la información, incluso para reflexionar, crear, aprender y decidir. Además, el otro paradigma, el del profesional que ocupa un lugar en una organización durante toda su vida, cuyo fin probablemente coincidirá con el fin de su puesto de trabajo, tiende a desaparecer y es sustituido por el del joven emprendedor que genera su propia fuente de trabajo y procura mantenerse ocupado el mayor número posible de años. El aumento espectacular de la esperanza de vida y las jubilaciones tempranas dejan un espacio que los egresados de la educación terciaria deben aprender a llenar.

En vista de la evidente necesidad de considerar todos estos factores a la hora de diseñar las políticas de educación superior, conviene recordar que la posición universalista a ultranza borra las culturas y no toma en cuenta las particularidades locales, en consecuencia, habrá que abordar su adopción —hasta donde se estime conveniente— con mucha cautela...

Y, de vez en cuando, volver los ojos al pasado para recordar que cualquier aspiración de acceso a los impresionantes recursos del mundo desarrollado ha de hacerse respetando nuestras tradiciones y valores culturales. Cuando el joven sea hombre es preciso que la Universidad, o lo lance a la lucha por la existencia en un campo social superior, o lo levante a las excelsitudes de la investigación científica; pero sin olvidar nunca que toda contemplación debe ser el preámbulo de la acción, que no es lícito al universitario pensar exclusivamente para sí mismo, y que si se pueden olvidar a las puertas del laboratorio al espíritu y a la materia... no podremos, moralmente, olvidarnos nunca ni de la humanidad ni de la patria (Justo Sierra, 1910).

Referencias

- ADAM, S. (2001). "Transnational Education Project", Report and Recomendations, marzo de 2001.
- ALTBACK, P.G. (1991). *La educación superior hacia el año 2000, Universidad Futura*, México, UAM-Azcapotzalco, 2 (6,7).
- BOLONIA. (1999). Joint declaration of the European Ministers of Education. Bolonia.
- Dirección electrónica: www.fenaco.net/naturopatiaeees.htm
- Dirección electrónica: www.upv.es/informa/infomiw/VEEES/Bolonia.pdf
- BRUNNER, J.J. (1996). "The Higher Education in Latin América", Symposium on The future of Universities, diciembre de 1996.
- (1999). "Evaluación de la calidad en el nuevo contexto latinoamericano", documento presentado en el Seminario de la RAICES, Santiago, Chile.
- BURGAN, M. (1998). "Access: A Matter of Justice", *ACADEMIE*, Bulletin of the American Association of Univesity Professors, 84(4), 72.
- GIRAL, F. (1978). *Enseñanza de la química experimental No.6*, serie de Química, Organización de Estados Americanos, Washington.

- HAUGH, G. (1999). *Trends in Learning Structures in Higher Education*, OECD.
- HERNÁNDEZ Pérez, V. (2005). El financiamiento de la Educación Superior en México. Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública. México.
- Dirección electrónica: <http://www.diputados.gob.mx/cesop/>
- NOTES ON HIGHER EDUCATION SYSTEM (2004). Data for academic year: 2003-2004. Source: Ministry of Education and Human Resources Development. Dirección electrónica: <http://www.moe.go.kr>
- OECD (2004). *Education at a Glance*. noviembre 2004.
- Dirección electrónica: www.oecd.org/ - Ik -
- ORTEGA y Gasset, J. (1930), "Misión de la Universidad y otros ensayos sobre educación y pedagogía", *Revista de Occidente*, Madrid, Alianza.
- PARKER, R. (ed.) (2005). *The Future of Higher (Lifelong) Education: A Vision for a Century Ahead, Planning For All Worldwide, a Holistic View*.
- Dirección electrónica: <http://ecolecon.missouri.edu/globalresearch>
- PÉREZ de Pablos, S. (2005). "El Consejo de Universidades planea reducir la cifra de carreras casi a la mitad", *El País*, 6 de mayo. La educación y el desarrollo nacional. 2001-2006. Plan Nacional de Desarrollo. 9/VIII/2004
- RAMÍREZ Bonilla, J.J. (1998). "Los sistemas de educación superior en el contexto de internalización de las economías de Asia Pacífico: ¿entre el plan y el mercado", en *Integración económica y políticas de educación superior. Europa, Asia Pacífico, América del Norte y Mercosur*, México, Anuies (Biblioteca de la Educación Superior).
- RAMOS, G. (2003). "La educación superior desde la perspectiva de la OCDE", ponencia, México, Anuies.
- RIUS, P. y Garritz, A. (2004). "Un programa de atención diferenciada para estudiantes universitarios", *Perfiles Educativos*, 26 (104) 28 –47.
- SAVATER, F. (2005). "¿Adiós a la filosofía?", *El País*, España, mayo 19 de 2005.
- SEBASTIÁN, J. (2002). Primer Seminario Internacional de Educación Superior; Calidad y Acreditación, Cartagena de Indias, Colombia, CNA, julio 10 de 2002.
- SIERRA, J. (1977). *Obras Completas*, tomo V. Discursos, 447- 462. México, UNAM, 1977.
- UEALC. 6x4. Seis profesiones en cuatro ejes. Una contribución del Ceneval al espacio común en educación superior en Europa, América Latina y el Caribe 2005.
- UNAM. (2005). "Inminente, el Espacio Iberoamericano de Educación Superior e Investigación", *Gaceta UNAM*, 27 de junio 2005.
- UNAM (2005). "La educación superior bien público", *Gaceta UNAM*, 27 de junio 2005.
- UNESCO (2004). *Compendio Mundial de la Educación, 2004, Comparación Estadística de la Educación en el Mundo*; Instituto de la Estadística;
- Dirección electrónica: <http://www.uis.unesco.org>
- UNESCO. (2004). *Competences pour le monde de demain. Resultados complementarios a Pisa 2000*.

Reflexiones sobre creatividad

Margarita R. Gómez Moliné

Introducción

El avance de las ciencias en los últimos 50 años ha sido tan vertiginoso que los coordinadores de carreras de tipo científico y tecnológico, pero sobre todo los encargados de actualizar planes y programas de estudio, se han visto obligados a revisar los contenidos de dichos planes. Desgraciadamente muchos de éstos están sobrecargados de contenidos y el docente no puede profundizar en algunos temas como sería conveniente hacerlo en determinados casos. Además, los contenidos deben acompañarse de todas las estrategias posibles para hacer que la enseñanza sea significativa para los alumnos. El estudio de la química requiere imaginación para representarse aquello que no podemos ver y crear modelos para ayudar a su comprensión. En química se necesita que los alumnos hagan suyos los conceptos, los experimenten y puedan recurrir a ellos para resolver problemas, imaginar nuevas soluciones o crear nuevos caminos. Es decir sean capaces de crear, de innovar.

No pretendo, en este texto, dar respuesta a las cuestiones que planteo, mi interés es compartir con otros profesores mis inquietudes y saber si algunos tienen respuestas o diferentes formas de enfocarlas. ¿Es innata la creatividad? ¿es perfectible? ¿cómo lograrlo? ¿está contemplada en los planes de estudio de las carreras de ciencias? En este capítulo se pretende destacar la importancia de la creatividad, ya que para resolver problemas nuevos hay que innovar, hay que crear nuevos enfoques.

Antecedentes

En mi tesis de doctorado quedaron cabos sueltos que tienen su origen en algunas respuestas de las encuestas realizadas que no se alcanzaron a analizar a profundidad porque pertenecían, más bien, al campo psicológico.

Por ejemplo, al preguntar a profesores cómo identifican a los alumnos brillantes, recibí respuestas como las siguientes (Gómez Moliné, 2003):

Son los que presentan una inquietud por hacer cosas nuevas, una inquietud por proponer nuevas actividades, es también una forma de energía personal que los impulsa a la búsqueda de nuevas formas de ver la realidad. (JD21)

No sólo contestan las preguntas del profesor, como lo hacen otros alumnos, sino que establecen conexiones con otras cosas, que parecen inconexas o chistosas, que sorprenden al profesor por su alta creatividad. (AA84-85)

El trabajo que hacen es original, novedoso, sugerente. (AA111-112)

También resulta interesante la relación entre metacognición y creatividad como lo hace Mayer (1998), quien plantea que las investigaciones sobre la forma de resolver problemas abiertos tienen como objeto dar respuesta a preguntas del siguiente tipo:

- ¿Qué se puede hacer para ayudar a la gente a ser creativa cuando se enfrentan a los problemas?
- ¿Por qué ciertas personas, cuando se enfrentan a problemas, tienen ideas claras, imaginan soluciones, las inventan y las descubren?

Una de las profesoras consultadas atribuye a la metacognición el éxito de algunos estudiantes:

Detecto aquel que es brillante porque dice: “esto no lo sé, me gustaría saberlo”, o bien dice: “espere, esta parte ya sé que no la tengo clara” (RN50).

Al tratar de aclarar estas ideas dispersas, me encuentro con algunas definiciones y propuestas, principalmente de Garder (1999) y Garanderie (1990), tales como:

La creatividad presenta paralelismos y diferencias con la inteligencia. Las personas son creativas cuando pueden resolver problemas, crear productos o plantear cuestiones en un ámbito, de una manera novedosa.

La inteligencia, igualmente, puede resolver problemas y crear productos. La creatividad incluye una categoría adicional, la de plantear soluciones nuevas, algo que no se espera de alguien que sea únicamente inteligente.

La creatividad difiere de la inteligencia en dos aspectos. La mayoría de los creadores destacan en un ámbito, o si acaso, en dos. En segundo lugar, la persona creativa hace algo que inicialmente es nuevo y que resiste la prueba de fuego, la aceptación final de su novedad (Gardner, 2001).

¿Cuándo creamos?

Amadeo Morera, fue mi profesor de filosofía en la Escuela Preparatoria Nacional, él planteaba los siguientes ejemplos:

Un escultor imagina su obra aportando algo más a lo que simplemente se ve en el original. La escultura de un caballo puede ser un modelo fiel del original, pero es un caballo “falso”, sin embargo resalta alguna cualidad del caballo, su fuerza, dignidad, armonía.

Cuando pensamos en inventos, pensamos en los automóviles. Un modelo 2004, sería un gran invento o una verdadera creación, si el modelo anterior fuera una carroza. El primer automóvil fabricado por Ford no era muy diferente de los coches tirados por caballos. Las ruedas de llanta metálica fueron sustituidas por llantas de bicicleta. El invento consistió en cambiar el caballo por un motor: Fue la asociación de dos conceptos conocidos, cada uno perteneciente a una rama distinta del conocimiento. Hay muchísimos ejemplos al respecto.

Descubrimientos e inventos

Los descubridores se interesan más por los objetos de la naturaleza que por los forjados por la mano del hombre. No se interesan por las fantasías ni por la ciencia ficción. Se interesan más por el “por qué”, que por el “cómo”.

El “cómo” intriga más a los inventores, quienes se interesan por los objetos fabricados, sienten curiosidad por sus mecanismos.

Una propuesta para explicar el proceso de comprensión

Según Garanderie (1990) el acto de la comprensión tiene una naturaleza evocativa y no perceptiva.

La percepción puede no provocar espontáneamente la evocación y no se produce la comprensión que es un objetivo complejo o inédito.

En cambio, la percepción provoca espontáneamente una evocación que proporciona la comprensión porque su objetivo es fácil o familiar.

Por ejemplo, si estoy leyendo un libro difícil y trato de representarme lo que acabo de leer, puede ser una evocación espontánea. En este esfuerzo de evocación empiezo a comprender, si no es así vuelvo a leerlo esforzándome en evocar y relacionar lo que he leído con otros conocimientos. No es sólo mediante la percepción que comprendo, la comprensión es de naturaleza evocativa y generalmente dirigida.

Pero, ¿la creatividad es un don?

Se dice que ciertas personas tienen imaginación, que son muy originales, que tienen una forma particular de enfocar las preguntas, de reaccionar frente a los acontecimientos. El lenguaje cotidiano conduce a pensar que estas cualidades son características de un individuo. De aquí a pensar que estas cualidades son innatas es un paso fácil de dar.

Sin embargo, en el ambiente científico y artístico evolucionan hombres que se nutren de ideas y metodologías. En los talleres, en los seminarios de investigación, el maestro comunica la riqueza de sus experiencias. Así funcionan las artes y la ciencia: se asimilan ideas y procedimientos.

La opinión corriente en el aula es que el alumno tiene o no tiene imaginación, es un espíritu original o un alumno sin imaginación. Éstos y otros juicios se dan como una constatación de “hechos naturales”: la imaginación se tiene o no se tiene, por herencia feliz o desgraciada.

Los matices y validez de estos juicios representan para los interesados en la docencia retos y puntos de reflexión, según Garanderie (1990), ya que hay hombres que adquieren grandeza, convirtiéndose en genios mediante cualidades que se cultivan con método y perseverancia, que provienen de la voluntad y no de un don heredado. Desgraciadamente es fácil renunciar a hacer trabajar la imaginación creadora con la excusa de que no se está ‘inspirado’.

Nuestros prejuicios nos inclinan a creer que la imaginación creadora se pesca al vuelo. Existe la espontaneidad y la intuición, pero aparecen después de largas horas de reflexión y de búsqueda y también de los conocimientos adquiridos en otras áreas. ¡Cuántas veces sólo analizamos el resultado maravilloso y no valoramos el esfuerzo continuado que lo ha precedido!

Algunas reflexiones para desarrollar la creatividad

Para la educación es un reto el desarrollo de la creatividad, veamos una explicación acerca del origen de tener o no tener imaginación:

El alumno que tiene la costumbre mental de evocar lo que le muestran, lo que le hacen leer, lo que le dicen con la exigencia de aceptarlo tal cual se lo proporcionan, acaba buscando en cualquier circunstancia modelos para imitar. Si el azar lo conduce a una situación inédita, es decir, a una situación para la cual no se le ha proporcionado ningún modelo, nunca se arriesgará a optar por adoptar una propuesta propia.

Se habla del alumno, como podríamos hablar de cualquier ser humano, ya que a aquellos que en lenguaje corriente se dice que no tienen imaginación son, efectivamente, individuos con costumbres mentales de evocación (memorística), reproductores y repetitivos, incluso antes de sentir, de percibir. Este alumno ve, escucha, toca o huele, siempre buscando la evocación de lo que se le ofreció, para reconocer el modelo aprendido y rechazar una situación diferente, sin aportar nada de su propia cosecha.

Cuando esta persona trata de remediar la situación y trata de encontrar una nueva solución a un problema, es demasiado tarde.

Es en el momento de aprender cuando codificamos mentalmente bajo la influencia del proyecto que lo impulsa: si la aspiración del proyecto es solamente memorístico-reproductiva, lo que se adquiera estará marcado por el espíritu de reproducción/repetición, lo cual significa que cualquier esfuerzo que hagamos no nos permitirá salir de este esquema.

Si cuando se percibe el significado del tema, el proyecto mental es adaptarlo, transfigurarlos, modificarlos aplicando la imaginación, este proyecto se reflejará en la resolución del problema, imprimiéndole la dimensión creativa que estaba viviendo el alumno cuando lo percibió.

Es necesario explicar e insistir muchas veces para que los docentes recordemos que la imaginación del alumno se desarrolla durante los años de aprendizaje, mientras se están adquiriendo los conocimientos y no después. Pues según la intención con que los conocimientos fueron aprendidos, así serán aplicados. Si estudiaron para memorizar y pasar el examen, en el mejor de los casos, repetirán lo aprendido. Si estudiaron para apropiarse de su significado, contrastándolo con sus vivencias, percibiendo su sentido, apropiándose de un significado que les resulta valioso, podrán emplearlo para resolver nuevos problemas, aportando su propio punto de vista, por lo que los llamaremos innovadores o creadores.

El punto de vista de los alumnos

La investigación que llevamos a cabo para fundamentar la tesis doctoral incluyó la observación de estudiantes con éxito académico, a quienes preguntamos cuales creían que eran las causas de sus éxitos, así como la ayuda que habían obtenido de sus profesores o la que hubiera deseado obtener.

Podemos resumir que:

- Necesitaban contar con un tiempo para aceptar un nuevo concepto, deseaban comentarlo con un compañero o “darle vueltas”. La clase seguía y había que tomar notas. Lo interesante del nuevo concepto se diluía y no volvían a acordarse de él.
- Comunicarse con los profesores no siempre era fácil. El maestro emplea otro lenguaje y a veces, no entiende dónde se atoró el alumno por lo que prefiere volver a empezar y repetir el tema con “su propio lenguaje”.
- La diversidad de intereses de los alumnos no siempre se ve satisfecha. Algunos se interesan por profundizar en la comprensión de los conceptos y relacionarlos con otros conceptos. Otros alumnos sólo les interesa saber qué van a hacer con el nuevo concepto, dónde se aplica, para qué les sirve dentro de las metas e intereses que tienen.
- Generalmente en las primeras clases o en cursos generales sólo se proporciona al alumno un aspecto del tema, no se ve completo y no se visualiza la relación con la materia. ¿Para qué nos dan cristalografía?, ¿de dónde sacaron esas leyes?, ¿cómo se comprueban?, ¿en dónde se aplica?, ¿para que me sirve? Las explicaciones superficiales que no cubren todo el campo de un concepto, generalmente no resultan significativas.

Propuestas pedagógicas

¿Por qué alrededor de los 10 ó 20 años algunas personas parecen tener el temperamento y la personalidad de un futuro experto mientras que otras parecen tener las características que se asocian con la creatividad? Gardner (2001) supone la coincidencia de muchos factores distintos que, tomados conjuntamente, predisponen a algunas personas a ser creadoras potenciales. Ésta es una lista especulativa:

- Un acercamiento temprano a otras personas que se sienten cómodas corriendo riesgos y que no se dan por vencidas con facilidad (nacer en Florencia durante el Renacimiento).
- La oportunidad de destacar por lo menos en una actividad cuando se es joven.
- La disciplina suficiente para poder dominar más o menos un ámbito durante la juventud.
- Un entorno que ponga a prueba constantemente a la persona cuando es joven, de modo que el triunfo esté a su alcance pero sin que sea demasiado fácil de lograr.
- Compañeros que también estén dispuestos a experimentar y que no desistan ante el fracaso.

- Ser uno de los hermanos menores o crecer en una configuración familiar poco común que anime la rebelión o por lo menos la tolere.
- Algún tipo de impedimento o anomalía física, psíquica o social que haga que la persona ocupe una posición marginal dentro de su grupo.

En contraste presenta otra lista de circunstancias poco propicias a un espíritu creativo:

- Ningún contacto con personas dispuestas a correr riesgos.
- Ningún estímulo para destacar en una actividad.
- Ninguna oportunidad de dominar un ámbito.
- Ausencia de padres o tutores que eleven el nivel de exigencia constantemente, sin prisa pero sin pausa.
- La falta de compañeros dispuestos a colaborar en la experimentación.
- Ser primogénito o formar parte de una constelación familiar que sofoque cualquier señal de rebelión.
- Normalidad total en relación con la propia comunidad.
- Encontrarse en un entorno donde los intentos de poner a prueba la capacidad intelectual se ignoren o se supriman deliberadamente.

Todo lo cual recuerda que una dotación genética adecuada no basta para producir un creador.

Garanderie

Es necesario construir buenas “costumbres evocativas”.

- Practicar las idas y venidas “percepción-evocación” para que la evocación, tanto verbal como visual, proporcione una buena reproducción o una buena interpretación de la percepción auditiva o visual de base de partida.
- A partir de la evocación construida, buscar entre los conocimientos adquiridos “evocaciones” susceptibles de compararse con ella.
- Encontrar el sentido de estas comparaciones: identidad, semejanza, diferencia; cuantificarlas: identidad total o parcial, etc.

- Es posible que el objeto evocado sólo lo sea como símbolo de procesos. En este caso, las evocaciones que han servido para la comparación lo serán también como símbolos de los procesos.
- Se tendrán que respetar los tiempos de descanso y será necesario observar el estado de avance de un posible proyecto para encontrar, para descubrir una relación inteligible que explique los fenómenos.
- Es principalmente en el momento de evocar cuando la mente tiene que abrirse a todas las hipótesis, para no olvidar ninguna posibilidad.

Vergnaud

Hace tiempo, en la teoría de los campos conceptuales, puso de manifiesto la necesidad de conocer en toda su amplitud un concepto para que, además de ser significativo para el estudiante, le permita conocer los límites en dónde y cómo puede ser aplicado. Generalmente, en secundaria, se simplifican o se obvian muchas explicaciones sobre cómo y por qué se llegó a determinados conceptos y sin esa contextualización, el concepto carece de significado y termina por ser memorizado. La ambición de programas extensos y poco profundos obliga al profesor a sintetizar y limitar muchos conceptos.

Otras propuestas

Los investigadores en didáctica de las ciencias han desarrollado programas para superar deficiencias, por ejemplo:

Los programas basados en el proyecto Ciencia, Tecnología y Sociedad aportan al alumno una relación más estrecha con el mundo real, y los programas basados en áreas transversales tratan de unificar el conocimiento.

Las áreas transversales que Yus (2000) define como temas recurrentes en el currículo, no paralelos a las áreas curriculares, sino transversales a ellas, han puesto en tela de juicio la efectividad de los currículos tradicionales a partir de los años 70, y han dado origen a la coexistencia de concepciones antagónicas de la educación.

La educación en un área transversal implica una serie de factores que no están contemplados en una educación tradicional, cuyo objetivo es la repetición y reproducción de conocimientos aceptados en las disciplinas.

En otras palabras, el paradigma cartesiano, actualmente dominante, que encuentra como la única forma de comprender o “dominar” la naturaleza, la división del saber en compartimentos estancos llamados disciplinas y en el enfoque analítico de la realidad. Estas divisiones artificiales de la naturaleza requieren de profesionales especializados, tanto en la investigación como en la enseñanza, que impiden detectar aquello que es ajeno a su disciplina, es decir, los temas sociales y los procedentes de otras disciplinas y campos que se intersectan con las suyas.

Los ejes transversales, como son la educación ambiental y la educación para la salud, permiten plantear problemas actuales en los que el alumno ha de enfrentarse a la construcción de una estructura que le permita “tomar decisiones autónomas en el seno de una comunidad, respecto a ciertos problemas, que pueden ser ambientales, de salud comunitaria o bien escolares, como son los planes de estudio y la problemática de una profesión o una industria”.

El docente en este caso debe enseñar a desarrollar cualidades en el alumno que le permitan resolver problemas reales para los cuales la solución no está en los libros, que cada caso presenta distintos enfoques, ambientes y recursos disponibles; por lo que es preciso recurrir a la imaginación, la innovación y la creatividad.

En la carrera de Química de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán se ha introducido una nueva asignatura: La industria química de México. Esta decisión se debió a que siendo México un país deficitario en fuentes de trabajo, pero rico en materias primas, requiere estimular el desarrollo tecnológico y la creatividad en el área química. Este planteamiento precisa un cambio profundo en los métodos de enseñanza, para que sean menos memorísticos y más creativos, más apegados a conocer las realidades y posibilidades del entorno para crear fuentes de trabajo, que en soñar con empleos bien remunerados (Gómez Moliné, 2004).

El estudiante está interesado en relacionar los estudios con sus propios intereses y proyectos a futuro, lo cual coincide con los objetivos básicos de la orientación CTS y con el resultado de las encuestas aplicadas al final del primer curso, que se presentaron en las IV Jornadas Internacionales para la Enseñanza Preuniversitaria y Universitaria de la Química, Mérida, septiembre de 2005 (Gómez Moliné, 2005).

Conclusiones

Hoy en día, la habilidad para dar respuesta a nuevas oportunidades es un problema personal. Aquellos cuya “caja de herramientas”, para relacionarse con la problemática laboral, incluye únicamente lo que han aprendido del pasado, de sus padres o de sus maestros están en abierta

desventaja. Es preciso establecer una conexión entre la reproducción de conocimientos aprendidos y comportamiento normativo con una innovación creadora y flexible. Esto requiere cambios profundos en las actitudes y en las capacidades a desarrollar.

Referencias

- GARANDERIE, A. de la (1990). *Comprendre i imaginar*, Barcelona, Barcanova.
- GARDNER, H. (2001). *La inteligencia reformulada: Las inteligencias múltiples en el siglo XXI*, Barcelona, Paidós.
- GÓMEZ Moliné, M.R. (2004). "Las metas profesionales de los estudiantes de Química", cartel presentado en el XXIII Congreso Nacional de educación Química, Mérida, 7 de octubre, 2004.
- (2005). "Una nueva asignatura en la licenciatura: La industria química de México", presentación oral. IV Jornadas Internacionales para la enseñanza Preuniversitaria y Universitaria de la Química, Mérida, 18 de noviembre, 2005.
- MAYER, R. E. (1998). "Cognitive, metacognitive and motivational aspects of problem solving", *Instructional Science*, 26, 49-63.
- SANMARTI, N. (1999). *¿De què parlem quan parlem d'educar i d'educar ambientalment?* cursos de doctorado. Universidad Autónoma de Barcelona.
- VERGNAUD, G. (1990). "La theorie des champs conceptuels", *Recherches en Didactique de mathematiques*, 10(2.3), 133-170.
- YUS, R. (2000). "Áreas transversales y enfoque curricular integrado en la educación científica básica", en Perales, F.J. y Cañal, P. (dirs.), *Didáctica de las ciencias experimentales*, 615-643. Alcoy, Marfil.

De las concepciones alternativas a las representaciones múltiples: las perspectivas de la investigación educativa¹

Alejandra García-Franco y Fernando Flores

Introducción

Después de tres décadas de investigación en enseñanza de las ciencias, resulta claro que los estudiantes llegan a las clases de ciencias con conocimientos previos, construidos a lo largo de su interacción con su entorno así como en cursos escolares anteriores; en muchas ocasiones, estos conocimientos se encuentran alejados del conocimiento aceptado por la comunidad científica.

Como consecuencia de este hecho, en la enseñanza de las ciencias y en la psicología cognitiva se originaron diversas teorías para tratar de explicar cómo es posible transitar desde una concepción construida a partir de la experiencia cotidiana hacia una concepción cercana a las concepciones científicas. En términos generales, estas teorías e investigaciones se han enmarcado bajo la denominación común de cambio conceptual.

En este trabajo, se hará una revisión de las principales teorías que han tratado de dar cuenta de este tránsito. También se intenta explicar cómo ha sido este proceso, y presentar un panorama que permita ubicar los desarrollos más importantes, sus diferencias y el punto en el que se encuentran actualmente. Es claro que no puede hacerse una revisión exhaustiva en este espacio, sin embargo, se han elegido los puntos más relevantes para comprender la evolución de este campo de conocimiento. Se hará una breve revisión de las concepciones alternativas, para después analizar algunos autores de teorías de cambio conceptual enmarcados en dos tipos fundamentales: el cambio conceptual radical (que implica reemplazo) y el cambio conceptual evolucionista. Para finalizar, se revisarán con mayor detalle dos aproximaciones teóricas que intentan explicar los mecanismos mediante los cuales se puede lograr este cambio conceptual.

¹ Este artículo fue publicado en la revista *Ethos Educativo*, núm. 30, mayo-agosto de 2004.

Las concepciones alternativas y el cambio conceptual

A partir del trabajo de Piaget en 1920, hasta la actualidad, se ha hecho un enorme esfuerzo por comprender la forma cómo los estudiantes, a través de sus ideas o concepciones, se representan el mundo natural. Existe un gran número de estudios empíricos que proporcionan evidencia de que las concepciones de los estudiantes, en muchos campos del currículo científico, son sustancialmente diferentes de las concepciones científicas aceptadas (Duit y Treagust, 1998). Se ha encontrado que estas concepciones son compartidas por estudiantes de diversas edades, habilidades, sexo y diferencias culturales y, de forma muy importante, se ha hecho evidente que son estables y resistentes al cambio. Sobreviven incluso a los cursos universitarios y a las estrategias de enseñanza explícitamente diseñadas para modificarlas (Wandersee *et al.*, 1994).

Gran parte de la investigación realizada desde finales de los años 70 y hasta mediados de los 90, se centró en la descripción de las concepciones de los estudiantes acerca de conceptos científicos aislados. Al consultar la base de datos de Pfundt y Duit (2004), que enlista la mayoría de las investigaciones alrededor de este tema que se han publicado en revistas de habla inglesa, se encuentran más de 6 000 referencias, lo cual da una idea de la importancia del tema en cuestión. De la misma forma la base de datos que se ha construido en la UNAM (Flores *et al.*, 2002) da cuenta de la gran cantidad y diversidad de las ideas de los estudiantes.

Si bien en los primeros estudios realizados había cierta tendencia de los investigadores a considerar que estas concepciones eran equivocaciones (*misconceptions*, errores conceptuales), producto de un aprendizaje erróneo, al encontrar su persistencia y su presencia en situaciones tan diversas, fue claro que estas concepciones alternativas son construcciones personales y racionales de los individuos que les permiten hacer inteligible el mundo que los rodea, así como actuar en él.

En la última década hubo un aumento notable en las investigaciones cuyo objetivo es analizar la transformación de estas concepciones, o bien, diseñar estrategias de enseñanza que tiendan a modificarlas. La mayor parte de la investigación en este campo se ha realizado desde una perspectiva constructivista, a partir de la cual se reconoce que el proceso de conocer es activo, individual y personal, y se basa en el conocimiento previamente construido (Ernest, 1989).

El término cambio conceptual ha sido utilizado con diferentes significados en la enseñanza de la ciencia y la investigación acerca del aprendizaje. En sentido general, se entiende este término como sinónimo de aprendizaje, dentro de una perspectiva constructivista (Duit, 2001), es decir,

se entiende como una reestructuración mayor del conocimiento existente, que representa un aprendizaje más profundo y difícil de lograr, en comparación con el aprendizaje más cotidiano, en el que se memorizan datos o se aprenden más ejemplos sobre algo ya conocido.

Las concepciones alternativas como maneras diferentes de experimentar un fenómeno: la perspectiva de la fenomenografía

La fenomenografía es una línea de investigación educativa que apareció a finales de los años 70 en la Universidad de Gotenburgo, Suecia. El término fue acuñado por Ference Marton en 1981 y consiste en reconocer que los individuos tienen maneras cualitativamente diferentes de comprender un fenómeno y que éstas podían agruparse en un número determinado de categorías. De acuerdo con Marton (1986), estas diferencias podrían ser importantes para explicar cómo es que los estudiantes aprenden de maneras diversas y obtienen por lo tanto distintos resultados escolares.

La fenomenografía sostiene una ontología no dualista, que considera que el individuo y el mundo que éste experimenta están internamente relacionados (Marton, 1998). La experiencia misma es la relación entre la persona y el mundo, por lo que experimentar el mundo significa participar en su constitución. Dada esta ontología, no es posible describir los fenómenos en sí mismos, así, en lugar de estudiar el aprendizaje en sí mismo, la fenomenografía estudia la experiencia del aprendizaje, dando lugar a una descripción cualitativa de la variación que se encuentra en ésta. Usualmente, estas descripciones cualitativas no son individuales, sino instancias colectivas de una forma de experimentar. El objeto de investigación es la variación en las formas en las que se experimenta un fenómeno.

Desde el punto de vista de la fenomenografía, el aprendizaje es un cambio cualitativo en las concepciones de una persona acerca de un fenómeno determinado, acerca de la forma en la que lo percibe, lo comprende y los significados que le asigna. Una persona puede tener distintas maneras de experimentar un fenómeno, por lo que distintas concepciones pueden coexistir y aplicarse en diferentes contextos. Los cambios entre estas concepciones pueden ocurrir porque el conflicto entre distintas concepciones se hace explícito, debido a los problemas que el estudiante debe resolver (Marton, 1998).

Para las teorías de cambio conceptual es relevante el reconocimiento de la existencia de concepciones múltiples respecto al mismo fenómeno, que son cualitativamente diferentes, que

no son necesariamente obstáculos para el aprendizaje y que constituyen un espacio de variación determinado alrededor de un fenómeno.

Las teorías radicales sobre el cambio conceptual. El cambio implica reemplazo

Dentro de las distintas aproximaciones al cambio conceptual, algunas consideran el cambio como un proceso revolucionario en el que el conocimiento que los estudiantes tienen antes de la instrucción es reemplazado por otro, más cercano al conocimiento científico. Las teorías que revisaremos comparten algunos elementos, sin embargo, difieren en la forma en la que consideran el conocimiento inicial y su transformación.

La teoría clásica del cambio conceptual

Una de las teorías iniciales sobre el cambio conceptual (reconocida ahora como la teoría clásica) surgió a principios de los años 80, en la Universidad de Cornell, con el artículo publicado por Posner, Strike, Hewson y Hertzog (1982) al tratar de dar respuesta a la pregunta “¿cómo se puede transitar desde una concepción alternativa C_1 hacia una concepción científicamente aceptada C_2 ?” (Duit, 1999, p. 264).

La teoría propuesta por Posner y sus colaboradores se fundamenta, por un lado en los supuestos epistemológicos de historiadores y filósofos de la ciencia, como Kuhn, Lakatos y Toulmin, y por otro lado, tiene un componente psicológico, basado en la noción piagetiana de acomodación, que permite explicar cómo las nuevas concepciones son incorporadas en la estructura conceptual de los individuos.

De acuerdo con esta teoría, las condiciones para que el cambio conceptual pueda ocurrir son:

- Existe insatisfacción con las concepciones que se tienen actualmente.
- Existe una nueva concepción que resulta inteligible.
- Esta nueva concepción es inicialmente plausible.
- La nueva concepción sugiere la posibilidad de un programa de investigación fructífero, o bien puede ser aplicada con éxito en diferentes dominios.

Uno de los conceptos centrales de esta teoría es la ecología conceptual por medio de la cual el sujeto determina si las nuevas concepciones son inteligibles, plausibles y fructíferas. Está constituida por la interrelación de diversos factores como los compromisos epistemológicos de quien aprende, su experiencia pasada, ejemplos e imágenes, analogías y metáforas, anomalías, así como creencias metafísicas. Esta noción determina que los cambios en los conceptos no suceden de manera aislada sino que afectan una red de conceptos, concepciones y creencias.

La teoría inicial fue duramente criticada por dar importancia al aspecto racional del aprendizaje (Pintrich, 1993). En revisiones posteriores, los mismos autores han hecho énfasis en la importancia y utilidad de la noción de ecología conceptual, admitiendo que cualquier cambio en un concepto ocurre enmarcado en otra serie de factores no directamente relacionados con éste (Strike y Possner, 1985).

Los autores de esta teoría dejan claro que ésta no es una teoría pedagógica, sin embargo, muchas estrategias de aprendizaje se han derivado a partir de ella. La mayoría basadas en el conflicto cognitivo, es decir, en la creación de insatisfacción con las condiciones actuales, esperando que si una concepción resulta insuficiente para resolver un problema o explicar un fenómeno, el estudiante tratará de buscar una concepción nueva que tenga más sentido y permita explicar un número más amplio de fenómenos. Si bien existen algunas investigaciones (Wandersee *et al.*, 1994) que sostienen que las estrategias que se basan en el conflicto cognitivo han resultado exitosas, o al menos más que las estrategias tradicionales de enseñanza, otros investigadores como Duit (1999), aseguran que no hay un solo reporte de investigación en el que a partir de una estrategia de enseñanza, una concepción alternativa haya sido reemplazada por la concepción científica.

El cambio conceptual como cambio en las teorías de referencia. Los modelos sintéticos

De acuerdo con Stella Vosniadou (1994, 2003), los conceptos se encuentran contenidos dentro de estructuras teóricas que determinan el proceso de adquisición de conocimiento. Con base en estudios de niños pequeños, argumenta que todos los seres humanos tienen una teoría intuitiva de la física,² que funciona como marco de referencia y que, al estar formada por una serie de presupuestos epistemológicos y ontológicos, determina el conocimiento que se adquiere.

² El término teoría es utilizado por Vosniadou, para denotar una estructura relacional y explicativa y no una teoría científica clara y explícitamente formulada.

El cambio conceptual ocurre cuando los conceptos que deben aprenderse son inconsistentes con las presuposiciones de las teorías existentes, o bien con su estructura relacional. Dado que se considera que estas teorías son sistemas coherentes de explicación, su transformación resulta muy difícil. En este caso, al tratar de incorporar información nueva a teorías existentes, los sujetos generan modelos mentales sintéticos (concepciones alternativas), que representan intentos por darle sentido a la información nueva, sin reestructurar de manera sustancial las teorías existentes.

El cambio conceptual, desde este punto de vista, es un proceso lento que se lleva a cabo mediante la supresión gradual de las presuposiciones que componen las teorías generales de los alumnos hasta que son reemplazadas con un diferente marco explicativo. Si bien Vosniadou considera que distintas concepciones pueden coexistir durante un periodo de tiempo, el cambio conceptual no ocurre hasta que cambian los supuestos epistemológicos y ontológicos de la teoría general.

El cambio conceptual como cambio en las categorías ontológicas

Un trabajo muy conocido en el campo ha sido el de Michelene Chi (1992), quien parte de la afirmación de que todo nuestro conocimiento está dividido en diferentes categorías ontológicas y propone que existe un número pequeño de éstas, dentro de las cuales puede clasificarse todo lo que conocemos. Desde su punto de vista, las categorías son: materia (o sustancia material), eventos (o procesos) y abstracciones. Estas categorías ontológicas son construcciones independientes de los individuos, existen y tienen características determinadas no sujetas a los conceptos que contienen o al uso que los individuos hagan de ellas.

Desde este punto de vista, las concepciones alternativas ocurren al hacer una asignación de un concepto a una categoría ontológica que no le corresponde. Por ejemplo, algunos conceptos físicos se clasifican dentro de la categoría sustancia material, dotándolos de propiedades y características que no les corresponden; al categorizar la electricidad dentro de la categoría ontológica “sustancia”, más que en la categoría de “procesos”, se cometen algunos errores comunes tales como afirmar que “la electricidad se almacena en una batería”, del mismo modo que otras sustancias se almacenan en cajas o latas (Chi y Roscoe, 2003, p. 14).

De acuerdo con Chi (1992), el cambio conceptual puede ocurrir en un ambiente de aprendizaje similar al tradicional, siempre y cuando se enfatice la categoría ontológica a la que

pertenecen los conceptos, de manera que los estudiantes puedan construir el puente que conecta la información que se está recibiendo con la categoría ontológica adecuada. Chi reconoce que es posible incorporar información nueva sin modificar los conocimientos intuitivos. Desde este punto de vista, el aprendizaje o cambio conceptual no es necesariamente un proceso constructivo, sino más bien un proceso que se lleva a cabo mediante adquisición de conocimiento y en el que las estructuras mentales iniciales pueden permanecer idénticas, sin que esto implique un problema para la adquisición y aplicación del nuevo conocimiento.

Elementos comunes en las teorías de reemplazo

En las teorías de cambio conceptual que hemos descrito hasta este momento, podemos afirmar que existen diferencias importantes respecto a lo que cada una de ellas considera que son las concepciones alternativas, así como la explicación sobre cuáles son los elementos necesarios para llevar a cabo el cambio conceptual.

| Modelo | Concepciones alternativas | Proceso de cambio conceptual |
|-----------------|---|---|
| Strike y Posner | Conceptos erróneos de acuerdo con el punto de vista científico, anclados como nichos ecológicos dentro de una ecología conceptual. | Conflicto cognitivo debido a que las concepciones previas son insuficientes para explicar determinados fenómenos y al reconocer que existen concepciones nuevas que son inteligibles, plausibles y fructíferas. |
| Vosniadou | Ocurren cuando se trata de incorporar información nueva a las teorías existentes, siendo que existe incompatibilidad epistemológica y ontológica, formando teorías sintéticas | Un proceso gradual de revisión de los presupuestos de las teorías, que culmina cuando los presupuestos epistemológicos y ontológicos de las teorías intuitivas son reemplazados por teorías nuevas. |
| Chi | Asignaciones incorrectas de conceptos dentro de una misma categoría ontológica o a través de categorías ontológicas diferentes | Reasignación de los conceptos a una categoría ontológica diferente mediante procesos adquiridos. |

Sin embargo, en todas ellas está presente la idea de que los conceptos, teorías o concepciones deben ser reemplazados, unos por otros, de forma que es posible seguir su trayectoria a lo largo del proceso de cambio (Spada, 1994). No se afirma que este reemplazo sea inmediato o sencillo, sin embargo, no se considera que el cambio conceptual se ha efectuado hasta que las concepciones alternativas son reemplazadas por concepciones nuevas, con mayor poder explicativo, o más consistentes con las teorías científicas aceptadas.

En la tabla de la página anterior, se hace una síntesis sobre los diferentes modelos revisados y la manera cómo cada uno de ellos considera las concepciones alternativas y el proceso del cambio conceptual.

El cambio conceptual evolucionista

Existen otras aproximaciones al cambio conceptual que consideran que las concepciones alternativas son fructíferas, ya sea porque se pueden refinar y desarrollar para constituirse en concepciones con mayor poder explicativo, o bien, porque son adecuadas en determinados contextos. En este apartado, describiremos dos de estas aproximaciones.

Los primitivos fenomenológicos

Andrea diSessa (1993, 1996, 2003) ha propuesto la construcción de una perspectiva teórica que hace énfasis en la continuidad entre estados más ingenuos y avanzados de la comprensión de los estudiantes. De acuerdo con este punto de vista, al interactuar con el mundo físico, los individuos adquieren un sentido del mecanismo, es decir, una idea (sentido) acerca de cómo es que funcionan las cosas, cuáles son los eventos necesarios para que algo suceda, cuáles son los eventos posibles o imposibles de ocurrir.

Para diSessa, en contraposición con algunos autores como Vosniadou (2003), la física intuitiva es una expresión de este sentido del mecanismo que no tiene la sistematicidad necesaria para constituirse en una teoría. Los elementos del conocimiento que dan lugar a esta física intuitiva son los primitivos fenomenológicos (p-prims), que son estructuras mínimas de conocimiento, en general autoexplicativas y que le permiten al sujeto explicar los fenómenos físicos. Son fenomenológicos porque “frecuentemente se originan en interpretaciones superficiales de la realidad experimentada” (diSessa, 1993, p. 112).

DiSessa considera que los p-prims no constituyen un sistema coherente de conceptos y relaciones, sino que son piezas sueltas de conocimiento que se utilizan en un momento determinado para dar una explicación, sin constituirse en modelos mentales o estructuras sólidas en la mente de quien aprende. El cambio conceptual, desde el punto de vista de diSessa consiste más en un proceso de reestructuración o de desarrollo, en el que los p-prims, sin desaparecer, dejen de ser autoexplicativos, y formen parte de estructuras teóricas más amplias. El argumento epistemológico central de esta teoría es que el desarrollo del conocimiento científico acerca del mundo físico es posible solamente mediante la reorganización del conocimiento intuitivo.

Esta aseveración plantea diferencias muy importantes con algunas de las teorías a las que se ha hecho referencia en la sección anterior, ya que desde este punto de vista, las concepciones alternativas, teorías sintéticas o preconcepciones, no pueden, ni deben ser reemplazadas por concepciones o teorías nuevas. El cambio conceptual, implica construir, a partir de las concepciones de los estudiantes, un conocimiento más estructurado y coherente que permita explicar los fenómenos físicos. Dado que el conocimiento intuitivo de los individuos no consiste en un sistema organizado y coherente de ideas, no tiene ningún sentido intentar reemplazarlo como un todo, por el contrario, requiere de desarrollo y refinamiento.

Los perfiles conceptuales

Eduardo Mortimer (1995) ha propuesto un modelo diferente para analizar el aprendizaje de conceptos científicos, denominado evolución conceptual. Su intención es encontrar un modelo que describa los cambios en el pensamiento de los individuos como resultado de un proceso de enseñanza. Mortimer sostiene que el reemplazo de una concepción o una teoría por otra, más cercana a la científicamente aceptada, es una tarea que no tiene sentido y afirma que es posible utilizar diferentes formas de pensar en diferentes dominios.

Mortimer se apoya en el filósofo francés G. Bachelard (1973, la primera edición es de 1948), quien afirmaba que cada individuo tiene formas diferentes de comprender o explicar un concepto y que la forma de utilizarlas depende del contexto en el que cada individuo se desenvuelve, de su experiencia previa y de su conocimiento sobre el tema. Bachelard acuña el término perfil epistemológico, para describir un perfil formado por categorías epistemológicas que constituyen las diferentes maneras de comprender un concepto. Por ejemplo, para el concepto de masa, distingue las categorías: realista, empirista, clásico racional y relativista.

De acuerdo con Bachelard, sería posible que cada individuo delinear su perfil epistemológico en relación con cada concepto científico. Mortimer (1995, p.270) sostiene que: “A pesar de las diferencias individuales de cada perfil, [...] la categorías que constituyen las diferentes divisiones del perfil, son formas supraindividuales de pensamiento, que corresponden a un intelecto colectivo.”

Mortimer sostiene que la evolución conceptual, consiste en un cambio en el perfil conceptual que cada individuo tiene para un concepto determinado. El perfil conceptual difiere del perfil epistemológico porque cada una de las zonas del perfil puede no solamente ser epistemológica sino también ontológicamente diferente de las otras.

Desde este punto de vista, el aprendizaje de un concepto científico consiste en el uso de las categorías adecuadas en un contexto determinado, es decir, en el crecimiento de algunas zonas del perfil conceptual. Este cambio no implica la extinción de categorías relacionadas, por ejemplo, con el pensamiento de la vida cotidiana, incluso si éstas no son aceptadas en un contexto científico.

A diferencia de diSessa (1993), Mortimer considera que, en algunos casos, el proceso de aprendizaje puede representarse como la construcción de un cuerpo nuevo de conocimientos a partir de la presentación de hechos y experimentos dado que no dependen de conceptos anteriores y pueden aplicarse en distintos dominios. Existen casos, sin embargo, en los que las concepciones anteriores, aun cuando están en una zona distinta del perfil conceptual, interfieren con el desarrollo de los conceptos en un nivel más complejo, por lo que se hace necesario enfrentar esta contradicción y resolverla al adquirir conciencia de la validez de cada una de las concepciones o categorías según el contexto en el que sean empleadas.

El modelo propuesto por Mortimer conjunta una serie de presupuestos tomados en cuenta en otros modelos, tales como los perfiles epistemológicos de Bachelard, y la ecología conceptual de Strike y Posner, entre otros, al mismo tiempo que toma en cuenta la evidencia empírica respecto a la imposibilidad de sustituir o reemplazar las concepciones alternativas de los estudiantes. Con este modelo se apoya la existencia de múltiples concepciones en los estudiantes y se permite vislumbrar la diversidad de caminos que existen para el aprendizaje.

Los mecanismos del cambio

La investigación sobre el cambio conceptual, en los años más recientes, ha comenzado a moverse, de algo más que describir las concepciones existentes antes y después de la instrucción y de establecer condiciones para el aprendizaje o para la sustitución conceptual, hacia un terreno aún inexplorado que parece más fértil y que se relaciona con el estudio específico de cómo se llevan

a cabo estos procesos de cambio (Chiu *et al.*, 2001). En esta sección, se hará un breve análisis de dos aproximaciones diferentes que tratan de dar cuenta de cómo cambian las concepciones de los estudiantes a lo largo de un proceso de enseñanza. Ambas aproximaciones parten de supuestos epistemológicos diferentes. Desde el punto de vista de A. diSessa y sus colaboradores, existen ciertas estructuras mentales y el proceso de conocimiento puede conocerse y modelarse, mientras que desde el punto de vista de la fenomenografía, el conocimiento no existe como tal en la mente del individuo sino que se conforma a partir de la tarea que debe ser resuelta. Existen, sin embargo, aspectos similares en ambas posiciones, mismos que resaltaremos al final de la sección.

La fenomenografía y la estructura de la conciencia³

Desde el punto de vista de la fenomenografía, el aprendizaje o cambio conceptual consiste en experimentar un fenómeno de una nueva forma. En el trabajo de Marton y Booth (1997), sobre la “*anatomía de la conciencia*” se establece que una concepción o forma de experimentar un fenómeno se relaciona con la manera en la que la *conciencia*⁴ está estructurada. Esta *conciencia*, tiene una dimensión estructural y una dimensión de significado (llamado referente).⁵

La dimensión estructural denota la relación entre los diferentes aspectos del fenómeno que constituyen su significado e implica el discernimiento del objeto a partir del contexto en el que se encuentra. La dimensión referencial denota el significado que se le asigna a un fenómeno determinado, a partir de los aspectos en los que se enfoca la atención, así como en la relación que se establece entre ellos y con el objeto en su conjunto. Las diferentes formas de experimentar un fenómeno pueden comprenderse en términos de las diferencias en la estructura de la conciencia en un momento determinado.

Por ejemplo, en un estudio sobre las diversas concepciones que los estudiantes tienen de algunos fenómenos económicos, Pong (1999) ha encontrado que para el precio existen fundamentalmente cuatro concepciones diferentes, una de ellas es que “el precio es una propiedad del objeto en cuestión”. En este caso, el aspecto estructural estaría determinado por la atención que se pone en las características del objeto. Este aspecto se relaciona con el tipo de objeto

³ Se utiliza el término conciencia como traducción de *awareness*, que también quiere decir estar atento a, darse cuenta de, por ello, se usan cursivas para referirse a la *conciencia*, dado que no se usa el término en sentido estrictamente filosófico.

⁴ De acuerdo con Marton (1998), se llama conciencia a la totalidad de experiencias que un ser humano tiene.

⁵ Marton se basa en la noción de campo de conciencia de la gestalt (Gurwitsch, 1964 en Runnesson, 1999).

sobre el que se esté preguntando, aun cuando desde el punto de vista económico el precio es independiente del tipo de objeto. La dimensión referencial se conforma entonces por los aspectos del fenómeno en los que se pone atención y la experiencia particular de quien está interpretando este fenómeno.

Esta caracterización de la *conciencia* permite comprender la naturaleza dinámica y contextual de las concepciones (Pong, 1999), dado que la estructura de la conciencia a la que se refieren se modifica de acuerdo con el objeto en cuestión y con la situación en la que éste se percibe, constituyendo un espacio de variación en torno a un fenómeno determinado. De acuerdo con Runesson (1999, p.2), “cuando el mismo objeto es visto de formas diferentes, podemos hablar acerca del aprendizaje. El aprendizaje puede verse como un cambio en la estructura de la conciencia”.

Desde esta perspectiva, el aprendizaje ocurre cuando se abre un espacio de variación, en el que es posible discernir distintos aspectos de un mismo fenómeno y darles significado. Este espacio está constituido por las diversas formas en las que un concepto puede ser comprendido. El cambio conceptual puede entenderse como la posibilidad de constituir este espacio, en un proceso dinámico, que relaciona los diversos aspectos del fenómeno con el contexto en el que éste es comprendido y con la experiencia particular de quien aprende.

El conocimiento en transición

A. diSessa y sus colaboradores (diSessa y Sherin, 1998) han hecho una fuerte crítica a la falta de rigor con la que son tratados los conceptos de concepto, modelo, teoría, esquema conceptual, etc., en gran número de trabajos sobre el cambio conceptual, debido a que no encuentran categorías teóricas capaces de describir la naturaleza de las entidades mentales involucradas y su evolución lo que provoca, que se subestime la complejidad del fenómeno del cambio conceptual.

Desde su punto de vista no es claro en la literatura qué es lo que puede considerarse como un concepto, por lo que proponen la existencia de más de un constructo teórico que permita manejar la diversidad de construcciones personales de los estudiantes. De acuerdo con diSessa: “*la tendencia debe ser a estudiar un número mayor de elementos de menor escala*” (2003, p.33), de forma que no se evite la complejidad real que existe en un proceso de cambio conceptual. Estos autores encuentran problemático tratar los conceptos como unidades aisladas y proponen cambiar esta visión por una en la que el conocimiento sea considerado como un sistema complejo que evoluciona, no sólo mediante el cambio en sus elementos sino por la construcción de relaciones nuevas y poderosas entre las concepciones iniciales.

La perspectiva del conocimiento como un sistema complejo no limita la forma de los elementos que lo constituyen; desde ella se pueden aceptar diversos tipos de conocimiento que caracterizan la diversidad y la complejidad de las acciones cognitivas. Se requiere entonces, caracterizar y tomar en cuenta diversos elementos y subsistemas de conocimiento tales como los modelos mentales, los primitivos fenomenológicos (p-prims), los casos cualitativos y las creencias acerca de la naturaleza del aprendizaje y el conocimiento (Smith et al., 1993). La tarea teórica más importante está entonces en caracterizar cómo estos sistemas evolucionan e interaccionan para producir el razonamiento en tiempo real, así como la resolución de problemas.

En esta línea de investigación, se han propuesto dos constructos teóricos, o tipos de conocimiento: los primitivos fenomenológicos (p-prims) y las clases coordinadas. Ambas categorías son diferentes entre sí, claramente definibles y permiten comprender distintas situaciones de aprendizaje mediante un cuidadoso análisis empírico. Ya hemos mencionado que los primitivos fenomenológicos constituyen mayoritariamente la física intuitiva y son elementos mínimos de conocimiento, conectados directamente con la realidad fenomenológica. En términos de sistema, los primitivos fenomenológicos son diversos y se encuentran vagamente relacionados y por tanto no hay entre ellos una jerarquía estricta.

Algunas características relevantes de los p-prims es que son: pequeños y monolíticos, numerosos, permiten una sensación de naturalidad y plausibilidad, son autoexplicativos, son fluidos y generados por los datos, se originan en abstracciones mínimas y se desarrollan mediante reorganización (Smith et al., 1993). Los p-prims permiten dar cuenta de una serie de situaciones en las que los individuos construyen el conocimiento (diSessa, 2003), cuando éstos se convierten en elementos de redes más estructuradas.

En oposición a los conceptos entendidos como unidades monolíticas, las clases coordinadas⁶ pueden entenderse como sistemas de conocimiento. Es claro que al hacer de un concepto, un sistema de conocimiento, se pierden sus límites de definición, sin embargo, desde su punto de vista, esto permite reflejar de mucho mejor manera la realidad, es decir, la manera cómo aprende cualquier individuo. El desarrollo de una clase coordinada, es de suponerse, es una tarea compleja, dado que está compuesta por muchos elementos diversos que deben integrarse de determinada manera para que sea efectiva. Una clase coordinada permite hacer una lectura específica de la realidad a partir de las distintas formas que los sujetos tienen para “leer sus observables” y establecer “relaciones

⁶ Es la traducción del término *coordination class*, que de alguna forma se refiere a los conjuntos coordinados. Puede no ser la traducción más afortunada, pero se ha preferido dejarlo de la forma más literal posible.

causales” entre ellos, y de esta forma llegar a una representación con sentido para el sujeto. Desde luego que esto implica un proceso complejo, cambiante y que deberá correlacionarse con otros elementos para generar visiones o interpretaciones coherentes.

Coincidencias y diferencias

Las posiciones expresadas, por un lado por diSessa y sus colaboradores, y por el otro por Marton y sus colaboradores, son diferentes fundamentalmente porque parten de posiciones epistemológicas distintas. Mientras, desde el punto de vista de la fenomenografía, no existen las entidades mentales como constructos, sino que el conocimiento se genera en la experiencia directa con la realidad mediante el uso colectivo de los conceptos, para diSessa y sus colaboradores, la construcción de este conocimiento se hace a través de ciertas entidades mentales específicas de cada persona, como los p-primis y las clases coordinadas.

La idea de las clases coordinadas permite dar cuenta de forma detallada del proceso de construcción que se lleva a cabo cuando se trata de aprender un concepto o fenómeno, dado que, desde la perspectiva de sistemas de conocimiento, integra las estrategias de lectura con las inferencias particulares que se hacen respecto a este fenómeno. Por otro lado, Marton y sus colaboradores, al encontrar que cada concepción o forma de experimentar un fenómeno, tiene un aspecto estructural y un aspecto referencial, dan cuenta de las concepciones resultantes. No hay en este caso, elementos teóricos como una red causal (necesaria en las clases coordinadas) que permitan dar cuenta del proceso de construcción.

Ambas posiciones coinciden en que aprender un fenómeno o concepto significa aprender a verlo de cierta forma. Asimismo, coinciden en que la forma como los seres humanos se relacionan con un fenómeno determina un espacio de variación. Es en este espacio donde se generan distintas formas de interpretación que llevan a concebir el aprendizaje como proceso dinámico, evolutivo y contextualizado, que requiere de los diversos procesos cognitivos que cada teoría propone.

Conclusiones

El camino que ha seguido la comprensión de los problemas del aprendizaje de las ciencias naturales ha transitado hacia la complejidad. Desde las consideraciones que hacían del conocimiento de los estudiantes un conjunto de contenidos, hasta el reconocimiento de una gran variedad de concepciones alternativas o ideas previas que determinan, en buena medida, la

comprensión posible en los distintos niveles escolares. También este tránsito hacia la complejidad se manifiesta en las concepciones de aprendizaje que van desde la incorporación o reorganización, hasta el cambio conceptual y, dentro de éste, como se ha descrito en este trabajo, desde la idea de reemplazo hasta una dinámica compleja.

El proceso de transformación referido da indicios de que la investigación en este campo educativo proporciona, cada vez más, una mejor comprensión del problema del aprendizaje de las ciencias. La dinámica que ha seguido el desarrollo de las teorías de cambio conceptual evidencia, también, la necesidad de profundizar e incrementar las investigaciones sobre cómo aprenden ciencias los estudiantes, sobre la efectividad de poner en práctica nuevos enfoques y, sobre todo desarrollar nuevos modelos o teorías que permitan una mejor aproximación a las variaciones posibles del aprendizaje de las ciencias, alejándose de la unidireccionalidad y linealidad por las que la enseñanza tradicional de las ciencias ha transitado.

Desarrollar investigaciones y marcos teóricos que den cuenta de los procesos que se llevan a cabo en los sujetos y determinar sus diferentes formas de “ver” los conceptos asociados a los procesos naturales para construir sus representaciones es uno de los nuevos retos que deberá ser abordado tanto desde la enseñanza de las ciencias como desde la psicología.

El desarrollo teórico de estas aproximaciones permitirá proponer nuevos enfoques y procesos de enseñanza y nos brindará mayores elementos para comprender el complejo fenómeno del aprendizaje.

Referencias

- BACHELARD, G. (1973). *La filosofía del no: Ensayo de una filosofía del nuevo espíritu científico*, Buenos Aires, Amorrortu.
- CHI, M. (1992). “Conceptual change within and across ontological categories: examples from learning and discovery in science”, en R. Giere (ed.), *Cognitive Models of Science*, Minneapolis, University of Minnesota Press, 129-186.
- y Roscoe, R. (2003). “The processes and challenges of conceptual change”, en M. Limón y L. Mason (eds.), *Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 3-17.
- CHIU, M., Kessel, C., Moschkovich, J. y Muñoz-Núñez, A. (2001). “Learning to graph linear functions: a case study of conceptual change”, *Cognition and Instruction*, 19 (2), 215-252.
- DISESSA, A. (1993). “Toward an Epistemology of Physics”, *Cognition and Instruction*, 105-225.
- (1996). “What do ‘Just Plain Folk’ know about physics?”, en D. Olson y N. Torrance (eds.), *Handbook of Education and Human Development*, Oxford, Blackwell, 709-730.
- (2003). “Why conceptual ecology is a good idea”, en M. Limón y L. Mason (eds.), *Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 29-60.

- y Sherin, B. (1998). "What changes in conceptual change?", *International Journal of Science Education*, 20 (10), 1155-1191.
- DUIT, R. (1999). "Conceptual change approaches in science education", en W. Schnotz, S. Vosniadou y M. Carretero (eds.), *New Perspectives on Conceptual Change*, Oxford, Pergamon, 263-282.
- y Treagust, D. F. (1998). "Learning in science: From behaviourisms towards social constructivism and beyond", en B. Fraser y K. Tobin (eds.), *International Handbook of Science Education*, Dordrecht, Kluwer, 3-25.
- ERNEST, P. (1995). "The one and the many", en L. P. Steffe y J. Gale (eds.), *Constructivism in Education*, New Jersey, Lawrence Erlbaum Associates.
- MARTON, F. (1981). "Phenomenography. Describing conceptions of the world around us", *Instructional Science*, 10, 177-200.
- (1986). "Phenomenography. A research approach to investigating different understandings of reality", *Journal of Thought*, 21 (3), 28-49.
- (1998). "Cognosco ergo sum. Reflections on reflections", en G. Dall'Alba y B. Hasselgren (eds.), *Reflections in Phenomenography*, Acta Universitatis Gothoburgensis, 163-187.
- y Booth, S. (1997). *Learning and awareness*, New Jersey, Lawrence Erlbaum.
- MORTIMER, E. F. (1995). "Conceptual change or conceptual profile change?", *Science & Education*, 4, 267-285.
- PFUNDT, H. y Duit, R. (2004). *Bibliography: students alternative frameworks and science education*, Kiel, Germany, Institute for Science Education at the University of Kiel (distribuida electrónicamente).
- PINTRICH, P. R., Marx, R. W. y Boyle, R. A. (1993). "Beyond conceptual change: the role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change", *Review of Educational Research*, 63 (2), 167-199.
- PONG, W. Y. (1999). The Dynamics of Awareness, VIII Conferencia Europea de Aprendizaje e Instrucción (EARLI), agosto de 1999.
- POSNER, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., y Gertzog, W. A. (1982). "Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change", *Science Education*, 66, 211-227.
- RUNESSON, U. (1999). Teaching as constituting a space of variation, VIII Conferencia Europea de Aprendizaje e Instrucción (EARLI), agosto de 1999.
- SMITH, P., diSessa, A. y Roschelle, (1993). "Misconceptions reconceived: A constructivist analysis of knowledge in transition", *The Journal of the Learning Sciences*, 3 (2), 115-163.
- STRIKE, K. A. y Posner, G. J. (1985) "A conceptual change view of learning and understanding" en L. West y L. Pines (eds.) *Cognitive Structure and Conceptual Change*, Orlando, Academic Press, p. 211-231.
- SPADA, H. (1994). "Conceptual change or multiple representations?", *Learning and Instruction*, 4, 113-116.
- VOSNIADOU, S. (1994). "Capturing and modelling the process of conceptual change", *Learning and Instruction*, 4, 45-69.
- (2003). "On the nature of naive physics", en M. Limón y L. Mason (eds.), *Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, p. 61-76.
- WANDERSEE, J. Mintzes, J. y Novak, J. (1994). "Research on alternative conceptions in science", en D. Gabel (ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, NSTA 177-210.

El conocimiento pedagógico del contenido: la importancia de las creencias de los profesores de química

Andoni Garritz y Rufino Trinidad-Velasco

Introducción

Lee S. Shulman (1999) cuenta en el prefacio de la obra de Julie Ges-Newsome y Norman Lederman (1999) lo que le ocurrió en el verano de 1983, cuando dictó una conferencia en la Universidad de Texas, en Austin, la cual tituló “El paradigma perdido en la investigación sobre la enseñanza”.

Para mi delicia, el título había aparentemente estimulado discusiones serias entre los participantes, en anticipación a mi charla. Ellos se preguntaban: “¿qué trae Shulman en mente como el paradigma perdido?” Las especulaciones abundaban. Muchos predecían que yo identificaría como tal a la *cognición del profesor*. Otros mencionaban al *contexto*. Otros aun especulaban que sería la *personalidad del profesor*. Aunque no hice una votación formal, parece que ningún miembro de la audiencia anticipó el aspecto de la enseñanza y de su investigación que yo declarararía como “perdido”. Y aun cuando me aproximaba a las notas de conclusión, después de una larga hora de charla (no me caracteriza la economía en la expresión), la mayoría recibió el impacto cuando declaré que “el paradigma perdido era el estudio del contenido de la materia y su interacción con la pedagogía”.

Tres años más tarde, Shulman (1986) publica las primeras ideas que resultan de los estudios sobre la interacción entre el contenido temático de la materia y la pedagogía. Para comprender esta interacción, se pregunta: “¿Qué analogías, metáforas, ejemplos, símiles, demostraciones, simulaciones, manipulaciones, o similares, son las formas más efectivas para comunicar los entendimientos apropiados o las actitudes de este tópico a estudiantes con antecedentes particulares?” (Shulman y Sykes, 1986, p. 9).

Asimismo plantea que, para ubicar el conocimiento que se desarrolla en las mentes de los profesores, habría que distinguir tres tipos de éste:

- El conocimiento del contenido temático disciplinario de la asignatura (CD), que se refiere a la cantidad y organización de conocimiento del tema *per se* en la mente del profesor;
- El conocimiento pedagógico del contenido (CPC), “el tema de la materia para la enseñanza”, del cual hablaremos en este capítulo, y
- El conocimiento curricular (CC), que está representado por el abanico completo de programas diseñados para la enseñanza del tema en particular, al igual que el conjunto de características que sirven tanto como indicaciones como contraindicaciones para el uso de currículos particulares.

Los autores de este trabajo hemos decidido extender y actualizar en este escrito lo dicho en otra referencia (Garritz y Trinidad-Velasco, 2004) respecto al conocimiento pedagógico del contenido (CPC) y poner énfasis en su relación con la enseñanza de la química, y las maneras que se han desarrollado hasta ahora para documentarlo. Este tipo de creencias de los profesores ha recibido mucha atención en los últimos años, sobre todo en relación con el proceso de formación de profesores. En este capítulo se han descrito otros documentos no detectados en el trabajo anterior y se detallan con mayor precisión los artículos publicados entre 2003 y 2005, ya sea sobre los temas de química del CPC o sobre cómo describirlo.

El CPC

De los tres tipos de conocimiento informados en la Introducción, el conocimiento pedagógico del contenido es el que ha recibido más atención, tanto en el campo de la investigación, como en el de la práctica. Utilizamos para nombrarlo su acrónimo, CPC, al igual que en inglés se utiliza PCK, por Pedagogical Content Knowledge.

Sobre el CPC, Shulman dice “es el conocimiento que va más allá del tema de la materia *per se* y que llega a la dimensión del conocimiento del tema de la materia para la enseñanza” (Shulman, 1987, p. 9). El CPC está relacionado con el contenido a enseñar y, según Talanquer (2004), es lo que caracteriza a los buenos profesores de los que no lo son tanto. “Se trata de una amalgama entre conocimiento disciplinario (CD), didáctica y pedagogía. Gracias a él, el profesor puede motivar, sorprender, despertar la curiosidad, generar interés y dar sentido”. Por eso siempre identificamos al buen profesor con la materia que explica y decimos “es un buen profesor de historia” o “se trata de un magnífico profesor de química”.

Hay que diferenciar el CPC del Conocimiento Pedagógico General para la enseñanza, el cual es el conocimiento de principios genéricos de organización y dirección en el salón de clases. De esta manera, en el CPC se incluyen, para los tópicos regularmente enseñados en el área temática del profesor, esas analogías, metáforas, ejemplos, símiles, demostraciones, etc., es decir, todo el esfuerzo que hace el maestro para hacer comprensible su tema en particular.

El CPC incluye también las creencias del profesor respecto a lo que hace fácil o difícil el aprendizaje de tópicos específicos, entre otras cuestiones las concepciones alternativas a las científicas que traen los estudiantes al salón de clases. Si estas ideas son difíciles de erradicar, como de hecho lo son frecuentemente, el profesor necesita poseer el conocimiento de las estrategias más probables de ser fructíferas en la reorganización del entendimiento de los aprendices, lo que forma parte igualmente del CPC. Asimismo, el CPC contempla tanto los objetivos de la enseñanza del tema específico como sus estrategias de evaluación, formativa y sumativa, empleados por el profesor.

Es conveniente identificar la diferencia entre aprendizaje y CPC, ya que el aprendizaje tiene más que ver con variables relativas al alumno, mientras que el CPC forma parte de las creencias del profesor. De cualquier forma, que un profesor posea un CPC ampliamente desarrollado podrá significar para algunos estudiantes la diferencia entre aprender o no aprender.

Shulman extiende en 1987 la noción del conocimiento básico con que el profesor debe contar, incluye al menos siete tipos de conocimiento, uno de los cuales es el CPC. Conviene ahora extendernos hacia otras definiciones que se han dado sobre el CPC y otros términos aldeaños.

Geddis (1993) indica “para ser capaz de transformar el conocimiento del contenido temático de forma que sea accesible a los estudiantes, los profesores necesitan conocer una multitud de cuestiones acerca del contenido que son relevantes para su ‘enseñabilidad’” (todas ellas formarían parte del CPC), entre otras:

- Lo que hace al tópico algo fácil o difícil de entender;
- Las estrategias más razonables para reorganizar el entendimiento estudiantil, para eliminar sus concepciones erróneas, y
- Una variedad de medios efectivos de representación de las ideas, incluyendo las analogías del tópico, ilustraciones, ejemplos, explicaciones y demostraciones.

Carlsen (1999) presenta un esquema del CPC con el que intenta representarlo a partir de la recopilación del conocimiento disciplinario de la materia y el conocimiento pedagógico general. Le da al CPC los cinco siguientes elementos:

- Concepciones alternativas de los estudiantes;
- Currículo científico específico;
- Estrategias instruccionales de tópicos;
- Propósitos de la enseñanza, y
- Planeación y administración de la evaluación.

El CPC está incluido actualmente en los Estándares de Desarrollo Profesional de los Profesores de Ciencias de Estados Unidos (National Research Council, pp. 62-68, 1996); se ha tomado en ese país como un elemento indispensable en los programas de formación de los profesores de ciencias. Talanquer *et al.* (2003), por ejemplo, han trabajado vigorosamente en la Universidad de Arizona para poner al punto los cursos de formación de profesores para la educación en ciencias. Han incorporado un curso de tres créditos con el nombre de Métodos de Enseñanza del Contenido que versa precisamente sobre el CPC específico del área de concentración del futuro profesor (biología, química, física o ciencias de la tierra).

Sánchez y Valcárcel (2000) citan el término de Shulman como *conocimiento didáctico del contenido*, basados quizás en la traducción que hace Mellado (1996), por primera vez en España. Es nuestro parecer que el término acuñado por Shulman debe respetarse, nombrándolo exactamente como lo hizo él: *conocimiento pedagógico del contenido*.

De los cambios que se han suscitado en los últimos años en los programas de educación de profesores de ciencias, De Jong, Korthagen y Wubbels (1998) hacen una recopilación de las tendencias de la formación de profesores en Europa y ubican como una importante, el creciente interés en el pensamiento de los profesores de ciencias, especialmente en el conocimiento de la asignatura, en el conocimiento pedagógico del contenido y en sus concepciones del aprendizaje.

Barnett y Hodson (2001) plantean un nuevo término: *conocimiento pedagógico del contexto* en el camino para entender qué saben los buenos profesores, y qué los diferencia de los no tan buenos. Incluyen en él cuatro tipos de conocimiento, con los siguientes porcentajes de cada uno en su investigación de caracterización de frases emitidas por seis buenos profesores de la enseñanza secundaria (puede observarse que la mayor proporción de las frases empleadas por los profesores en las entrevistas tienen que ver con el CPC):

- | | |
|---|-------|
| • Conocimiento académico y de investigación | 19.7% |
| • Conocimiento pedagógico del contenido | 44.5% |

| | |
|------------------------------------|-------|
| • Conocimiento profesional | 21.2% |
| • Conocimiento del salón de clases | 14.6% |

Barnett y Hodson incluyen, dentro del conocimiento pedagógico del contenido el uso de:

- Estrategias para enseñar ciencia.
- Estrategias para evaluar el aprendizaje de las ciencias.
- Recursos científicos.
- Recursos de la comunidad.
- Estrategias para integrar la ciencia con otros temas.
- Estrategias para personalizar la educación en ciencias.

Podríamos aventurar aquí que la proporción de los cuatro tipos de conocimiento en una muestra de profesores universitarios daría con seguridad diferentes cifras a las mostradas en este estudio. Nos atreveríamos a asegurar que en el nivel universitario tanto el conocimiento académico y de investigación como el conocimiento profesional quizás serían aproximadamente de 30 a 35% y se tendría una menor proporción de CPC (aunque pensamos que no sería menor a 30%) y de conocimiento del salón de clases. Sería interesante indagar un poco más al respecto con una investigación formal.

¿Cómo capturar y describir el CPC de los profesores?

Grossman (1990) identifica cuatro fuentes a partir de las cuales el CPC se genera y desarrolla:

- La observación de las clases, tanto en la etapa de estudiante como en la de profesor-estudiante;
- La formación disciplinaria;
- Los cursos específicos durante la formación como profesor; y
- La experiencia de enseñanza en el salón de clases, como la fuente más importante.

Kagan (1990) titula su artículo como “Maneras de evaluar la cognición de los profesores: inferencias concernientes al principio de Ricetos de Oro”. La autora se refiere a que algunos conceptos parecen ser demasiado pequeños (específicos) para una aplicación razonable y otros parecen ser más

grandes (vagos, generales o ambiguos) para ser traducidos en términos concretos. En particular, toma el concepto de *cognición de los profesores* como uno que para algunos es demasiado estrecho, al considerar que la noción de que “la competencia de un profesor emerge de la investigación proceso-producto de los años 70, es decir, enteramente en términos de una ‘lista de lavandería de objetivos de comportamiento’, mientras que para otros, que definen la buena enseñanza en términos de la cognición subyacente, resulta ser un término demasiado grande.”

Kagan encuentra diversas bases bajo las cuales la investigación sobre la cognición de los profesores resulta ser demasiado vaga o ambigua como para promover su utilización. Ésta es, en efecto, una crítica declarada para el empleo del CPC, sobre todo como elemento para reconocer la buena y la no tan buena docencia. Kagan nos dice que sólo tiene sentido hablar de buena docencia cuando existe una “validez ecológica”, es decir, cuando dicha docencia se mide en términos de lo que afecta la vida en el salón de clase. Propone Kagan que el actuar de los profesores se mida más con el impacto sobre los estudiantes, en lugar de a través del comportamiento del profesor con una herramienta o en una tarea particular o en su conocimiento. Hay que decir que nos falta mucho para llevar a la práctica la recomendación de Kagan sobre la evaluación de la buena docencia.

Las dificultades para conocer el CPC de los profesores han sido expresadas por Baxter y Lederman (1999). Mencionan que el CPC no puede observarse directamente, dado que se trata de un constructo interno del profesor. Durante el episodio de unas pocas clases es posible que no exponga el profesor sino una pequeña porción de su almacén acumulado de mejores ejemplos. Estos autores citan como fuentes para extraer el CPC las siguientes:

- Pruebas de lápiz y papel.
- Observación de las clases.
- Elaboración de mapas conceptuales.
- Representaciones pictóricas.
- Entrevistas.
- Evaluaciones multimétodo.

Recientemente, un grupo de investigadores australianos (Mulhall, Berry y Loughran 2003; Loughran, Mulhall y Berry, 2004) hablan de las razones por las cuales resulta difícil reconocer y articular el CPC.

- Puede no resultar evidente para el investigador en los confines de unas cuantas lecciones.
- Mucho del conocimiento de los profesores es tácito, se trata de una construcción interna.

Adicionalmente, presentan dos herramientas para documentar el CPC:

- CoRe (Content Representation).
- PaP-eRs (Professional and Pedagogical Experience Repertoires).

Para obtener la representación del contenido (CoRe) empiezan por extraer del profesor las ideas o conceptos centrales de su exposición del tema, y para cada idea central se le pregunta:

- ¿Qué intentas que los estudiantes aprendan alrededor de esta idea?
- ¿Por qué es importante para los estudiantes aprender esta idea?
- ¿Qué más sabes sobre esta idea? (Lo que tú no vas a enseñar por ahora a los estudiantes).
- ¿Cuáles son las dificultades y limitaciones conectadas a la enseñanza de esta idea?
- ¿Cuál es el conocimiento acerca del pensamiento de los estudiantes que influye en tu enseñanza de esta idea?
- ¿Qué otros factores influyen en tu enseñanza de esta idea?
- ¿Qué procedimientos empleas para que los alumnos se comprometan con la idea?
- ¿Qué maneras específicas utilizas para evaluar el entendimiento o confusión de los alumnos sobre la idea?

Loughran, Mulhall y Berry (2004) han empleado la técnica del CoRe para extraer el CPC de conjuntos de profesores, mediante el cuestionario mencionado en reuniones con varios profesores involucrados, quienes adoptan un CoRe de consenso. Garritz, Porro, Rembado y Trinidad (enviada) han demostrado que el CoRe de un conjunto de profesores depende de sus antecedentes curriculares y profesionales, aunque puede lograrse que coincidan entre varios grupos las ideas o conceptos centrales asociados con la enseñanza de un tema.

Los repertorios de experiencia profesional y pedagógica (PaP-eRs), por su parte (Loughran *et al.*, 2001), son explicaciones narrativas del CPC de un profesor para una pieza particular de contenido científico. Cada PaP-eR “desempaca” el pensamiento del profesor alrededor de un elemento del CPC de ese contenido y está basado en observaciones de clase y comentarios hechos por el profesor durante las entrevistas en las cuales se desarrolla el CoRe.

Se intenta que los PaP-eRs representen el razonamiento del profesor; o sea, el pensamiento y acciones de un profesor de ciencia exitoso al enseñar un aspecto específico del contenido científico. La función de la narrativa es elaborar y adentrarse en los elementos interactivos del CPC del profesor, de forma que sea significativa y accesible al lector, y que pueda ser útil para fomentar la reflexión acerca del CPC bajo consideración.

Los PaP-ers ofrecen una forma de capturar la naturaleza holística y la complejidad del CPC. Tienen la capacidad de expresar un “todo narrativo” y funcionan para explicar en un texto lo que un profesor toma como acciones primordiales al dar su clase.

Por su parte, Veal (2002) ha usado viñetas para estudiar las creencias y el conocimiento de los profesores. Una viñeta es una imagen o descripción de una situación que puede o no tener un escenario problemático. Las viñetas desarrolladas por Veal, incluyen aspectos tanto de contenido pedagógico como de conocimientos, tales como: manejo en el salón de clase, aprendizaje del estudiante, estilos y métodos de enseñanza, contenido científico correcto e incorrecto y cuestiones multiculturales.

EL CPC de química

Respecto al CPC en la enseñanza de la química se han encontrado relativamente pocos estudios durante los últimos 20 años, aunque se ha incrementado notablemente la aparición de artículos en los últimos años:

a) Geddis, Onslow, Beynon y Oesch (1993) presentan un primer ejemplo acerca de cómo los profesores más efectivos logran transformar el contenido de la materia en formas que sean más accesibles para sus estudiantes.

Empiezan con el relato de una estudiante de profesorado, Karen, que lo único que alcanza es a entender el concepto a enseñar y reproduce su conocimiento en la clase con los alumnos de 11° grado, lo cual le toma mucho más tiempo que el especificado en el currículo.

Culminan con la experiencia de Alan, otro profesor-alumno, que es muy bien orientado por su profesor cooperante, Marvin. Éste idea una forma para que los alumnos entiendan conceptualmente la masa relativa promedio de los isótopos naturales de un elemento, gracias a una tabla, en la cual los alumnos calculan la masa promedio de muestras de carbono con un número variable de átomos de ^{12}C , con una masa exacta de 12 uma y de ^{13}C , con una masa exactamente de 13 uma.

| Ejemplo | Número de átomos | | Masa atómica promedio (suma) |
|----------------------------------|------------------|------------|------------------------------|
| | Carbono-12 | Carbono-13 | |
| A | 1 | 1 | 12.5 |
| B | 2 | 1 | 12.33 |
| C | 3 | 1 | 12.25 |
| D | 4 | 1 | 12.2 |
| E | 5 | 1 | 12.17 |
| F | 6 | 1 | 12.14 |
| G | 7 | 1 | 12.12 |
| Carbono como ocurre naturalmente | | | 12.01 |

Marvin pide a los estudiantes calcular las masas promedio de la última columna que involucren a los dos átomos presentes en la primera fila, luego los tres átomos de la segunda fila, etc. Y les pregunta: “¿Cuál isótopo es más abundante en el carbono natural? ¿qué tanto es más abundante?” Para luego hacer la pregunta más difícil: “En el carbono como ocurre naturalmente, ¿cuál es el porcentaje de abundancia de ^{12}C ? ¿cuál es el de ^{13}C ?”

Queda claro que Marvin está más enfocado a un aprendizaje *conceptual* que a uno *procedimental*. Así, los buenos profesores pueden ayudar a sus alumnos a entender, mediante ejemplos que son menos complejos, más concretos y cercanos a la forma de pensar de todos los días.

Geddis *et al.* mencionan al concluir su artículo, que son cuatro las categorías en las que juega el CPC para transformar el conocimiento académico en formas accesibles para los estudiantes:

- El conocimiento de las concepciones alternativas de los alumnos.
- Estrategia de enseñanza efectiva que toma en consideración ese conocimiento.
- Representaciones alternativas del tópico a enseñar.
- Lo sobresaliente en el currículo de los temas de la asignatura.

b) Clermont, Krajcik, y Borko (1993; 1994) realizan dos trabajos relativos al CPC de un conjunto de profesores que participan en un taller de capacitación en el que usan demostraciones para dos conceptos básicos del estado gaseoso: la densidad y la presión del aire.

Estos autores encuentran que el CPC de los profesores de ciencias puede crecer a partir de talleres intensivos orientados a desarrollar habilidades. Sus hallazgos indican que el CPC es un sistema de conocimiento complejo y sugieren que sus diferentes componentes pueden mostrar diferentes velocidades de crecimiento en una actividad de capacitación.

Posteriormente (1994) examinan el CPC de profesores de química, tanto con experiencia como principiantes, que usan como estrategia la enseñanza por demostraciones. Los hallazgos sugieren que los profesores con experiencia, comparados con los novatos, poseen un mejor repertorio adaptativo y representacional para la enseñanza de conceptos fundamentales. También parecen ser más conocedores de la complejidad de las demostraciones químicas, cómo dicha complejidad puede interferir con el aprendizaje y cómo las demostraciones más simples pueden promover mejor el aprendizaje de conceptos.

c) Recordando cómo Shulman incorpora a las analogías en su descripción del CPC, Thiele y Tregust (1994) instan a desarrollar repertorios docentes de analogías para cada tema de la química, aunque reconocen que no sólo es necesario que los profesores cuenten con ese repertorio, sino que también deberían contar con un modelo de enseñanza que guíe el uso de esas analogías. Ese modelo, para la enseñanza con analogías, debería incluir un momento para establecer las similitudes y no similitudes entre análogo y objetivo.

d) Van Driel, Verloop y de Vos (1998) realizan un estudio empírico enfocado al CPC de un tópico específico, el equilibrio químico; además incluyen una revisión de la literatura sobre el CPC de los profesores respecto a la enseñanza, en general, y en el dominio de la educación en ciencias, en lo particular.

e) Koballa *et al.* (2000), en un estudio realizado sobre las concepciones del aprendizaje y enseñanza de la química de futuros profesores de nivel superior, encontraron que éstos mantienen tres concepciones cualitativamente diferentes del aprendizaje de la química:

- como un aumento de conocimiento químico de fuentes creíbles;
- como la resolución de problemas químicos, y
- como una construcción de entendimiento personal.

Asimismo, encuentran también tres concepciones cualitativamente diferentes de la enseñanza de la química:

- como una transferencia de conocimiento químico del profesor a los alumnos;
- como el planteamiento de problemas químicos para que los alumnos los resuelvan, y
- como la interacción con los alumnos.

Aun cuando un profesor puede tener más de una concepción del aprendizaje o enseñanza de la química, hay una que domina su perspectiva. Los autores encontraron que la mayoría de los futuros profesores mantienen concepciones reproductivas, más que constructivas, del aprendizaje de la química, así como que sus concepciones de la enseñanza son facilitadoras del aprendizaje reproductivo.

f) Sobre el tema de los cálculos químicos y el concepto de mol presentan resultados Sánchez y Valcárcel (2000). Dicen que la dificultad de enseñar este tema es que “el mol es un concepto poco claro y abstracto, el número de Avogadro es difícil de imaginar por su magnitud y los cálculos químicos requieren el concepto de proporcionalidad”. Indican, finalmente, que los profesores se enfrentan con problemas: “no sé plantear experiencias concretas para estos contenidos; no sé con qué actividades prácticas introducir el tema, o para que los alumnos puedan deducir a partir de ellas los conceptos, como me habría gustado”.

g) De Jong, Veal y Van Driel (2002) realizan una recopilación de los estudios llevados a cabo con un enfoque sobre el conocimiento básico de los profesores de química, centrándose sobre el CA y el CPC, esto es, los dos tipos de conocimiento que están determinados por la naturaleza del tópico enseñado. Concluyen que el CPC se adquiere fundamentalmente dando clases.

Estos autores resumen la variedad de aspectos del CPC de los profesores de química de la siguiente manera:

- Los profesores de química con insuficiente CPC de tópicos específicos pueden, en ocasiones, realizar demostraciones de tópicos específicos que pueden reforzar las concepciones alternativas de los estudiantes.
- Un excelente CA, el conocimiento de cómo aprenden los estudiantes y el conocimiento de representaciones alternativas, son requisitos para la selección y uso de explicaciones analógicas apropiadas y efectivas.
- La selección, por parte de los profesores de química, de una estrategia para la enseñanza de cálculos estequiométricos con frecuencia no es muy adecuada desde la perspectiva del aprendizaje del estudiante.

h) En otro trabajo, Van Driel, de Jong y Verloop (2002) analizan el crecimiento del CPC relativo a la relación macro-micro en la enseñanza de la química, de doce profesores durante el primer semestre de su año formativo como posgraduados. Evalúan su conocimiento de la materia, su experiencia docente respecto a tópicos específicos, el conocimiento de las concepciones y las dificultades de aprendizaje estudiantil, y su participación en talleres de trabajo específicos.

i) Un trabajo sobre este tema en el bachillerato es el de Treagust, Chittleborough y Mamiala (2003), en el que analizan, con ejemplos, los cinco tipos de explicaciones que emplean los profesores durante sus clases introductorias de fisicoquímica y de química orgánica, acerca de los tres niveles de representación usados en la química, el macroscópico, el submicroscópico y el simbólico:

- Analógicas (Un fenómeno o experiencia familiar se emplea para explicar algo poco familiar).
- Antropomórficas (A un fenómeno se le dan características humanas para hacerlo más familiar).
- Relacionales (Una explicación que es relevante dada las experiencias personales de los aprendices).
- Basadas en problemas (Una explicación demostrada a través de la resolución de algún problema).
- Basadas en modelos (Utilizar un modelo científico para explicar un fenómeno).

j) Hofstein *et al.* (2003, 2004) presentan el desarrollo de liderazgo entre los profesores de química en Israel a consecuencia de la implantación de nuevos contenidos y de estándares pedagógicos en la educación científica en ese país. Las características de liderazgo que asumen en su trabajo tienen que ver con motivación, autoconfianza, creatividad, integridad, responsabilidad y carisma, logradas por el desarrollo personal, el desarrollo profesional y la dimensión social de los profesores. En los aspectos profesionales describen tanto el desarrollo del conocimiento del contenido como del CPC, a lo cual se dedican durante todo el primer año del programa de liderazgo. Dedicaremos un par de párrafos a describir las líneas generales de abordaje de los aspectos de contenidos (30% del tiempo), CPC (45%) y capacidades de liderazgo (25%).

En años recientes el currículo de química ha cambiado dramáticamente, desde un foco en la estructura de la disciplina hacia un enfoque multidimensional. En vista de ello, la química debe ser enseñada con énfasis en su relevancia en la vida diaria y su papel en la industria, la tecnología y la sociedad. De esta manera el futuro desarrollo de materiales de enseñanza y aprendizaje

de la química debe incluir las siguientes dimensiones: la estructura conceptual de la química, el proceso de la química, las manifestaciones tecnológicas de la química, la química como un tópico «personalmente relevante», los aspectos culturales de la química y, finalmente, las implicaciones sociales de la química.

La enseñanza de la química debe fundamentarse en que es una disciplina basada en la indagación, en la cual los problemas deben resolverse tanto en clase como en el laboratorio empleando métodos y actividades de indagación. Estos autores insisten en incluir tópicos de las 'fronteras de la química', tales como 'radiactividad y radiación', 'la química de la nutrición', 'ciencia de materiales', 'semiconductores' y 'química del cerebro'.

Finalmente Hofstein y colaboradores presentan toda una serie de herramientas para certificar el cambio de las creencias de los líderes durante los dos años que dura el entrenamiento, que consisten desde cuestionarios con respuestas tipo Likert, hasta entrevistas extensas, y cuestionarios con respuestas abiertas.

K) Talanquer (2004) dice que hasta la aparición del concepto de CPC hemos dado bandazos en el proceso de formación de profesores.

Insiste en que transformar el conocimiento disciplinario en formas que resulten significativas para los estudiantes requiere que el docente posea el CPC suficiente para que:

- “Identifique las ideas, conceptos y preguntas centrales asociados con un tema.
- Reconozca las probables dificultades conceptuales.
- Identifique preguntas, problemas o actividades que obliguen al estudiante a reconocer y cuestionar sus ideas previas.
- Seleccione experimentos, problemas o proyectos que permitan que los estudiantes exploren conceptos centrales.
- Construya explicaciones, analogías o metáforas que faciliten la comprensión de conceptos abstractos.
- Diseñe actividades de evaluación que permitan la aplicación de lo aprendido en la resolución de problemas en contextos realistas y variados.”

I) Veal (2004) ha explorado las creencias en la enseñanza de futuros profesores de química y su relación con el CPC; cómo las creencias y los conocimientos de los profesores en formación se desarrollan. Para ello utiliza una variación del método llamado “microgenético” en el cual se emplean viñetas como una estrategia de intervención moderada diseñada para facilitar la indagación (Veal, 2002).

Sus resultados indican que los componentes de CPC observados en este estudio, se desarrollaron a diferentes velocidades en cada uno de los participantes, debido a sus experiencias previas que conformaron sus creencias. El desarrollo del conocimiento y creencias de los profesores fue sinérgico y basado más en la experiencia en el salón de clase y menos en los métodos tradicionales (seminarios, clases, literatura). Veal también encuentra resultados similares a los de otros estudios; esto es, los futuros profesores consideran que en el proceso de enseñanza aprendizaje de la química el conocimiento es transferible.

m) Bucat (2004) convoca a profesores, químicos e investigadores en educación química a trabajar juntos para integrar los hallazgos pedagógicos, químicos y de investigación educativa y crear una colección de CPC sistematizado y documentado. Da una serie de ejemplos de CPC en la enseñanza de la química para la enseñanza de ley de acción de masas, de los símbolos y el lenguaje químicos, de la sustitución nucleofílica y las reacciones de eliminación, de la simetría molecular, la enantiomería, y otros temas. Sostiene que existen miles de discusiones y consejos sobre la enseñanza de los distintos temas, pero no hay una colección sistemática basada en la investigación y análisis de aspectos particulares de una temática, acompañada por la evaluación en el aula.

n) Talanquer (2005), para el desarrollo del CPC de profesores de química en formación, ha desarrollado “una tabla periódica en un universo paralelo”. En ella se propone un ejercicio de análisis de un conjunto de propiedades de los elementos de un supuesto universo paralelo, para intentar que los estudiantes desemboquen en la construcción del diagrama periódico de los mismos. Se trata de un experimento sumamente creativo en el que los estudiantes-profesores logran revisar el entendimiento básico de conceptos tales como masa atómica relativa, mol, periodicidad, estado de oxidación y composición química.

o) Después de los trabajos de Clermont, Borko y Krajcik sobre el CPC obtenido en talleres de trabajo sobre demostraciones, hay tres trabajos recientes que exploran estos aspectos para la enseñanza práctica (Hofstein y Lunetta, 2004; Hofstein, 2004; Bond-Robinson, 2005), con lo cual ha vuelto a ponerse en el candelero este tema. En relación con el crecimiento del CPC sobre enseñanza experimental, Hofstein y Lunetta (2004) apuntan que

acrecentar en los profesores de ciencias el conocimiento del contenido y su conocimiento pedagógico del contenido (Gess-Newsome y Lederman, 1999; Shulman, 1986) puede ayudar a que éstos desarrollen niveles más altos de conocimiento, habilidades y confianza para construir ambientes de aprendizaje efectivos, lo que incluye experiencias científicas de laboratorio más sustantivas y significativas. En esta era de expansión exponencial del conocimiento de ciencia y pedagogía, tal desarrollo debería ser un

proceso continuo a lo largo de la vida profesional de un profesor. La literatura ha sugerido que las inconsistencias entre los objetivos del profesor y las limitaciones de sus habilidades, en este caso en el laboratorio escolar, deben dirigirse cuidadosamente en programas de desarrollo profesional de largo plazo diseñados para desarrollar el entendimiento, conocimiento y habilidades de los profesores.

p) El trabajo de Bond-Robinson (2005) habla de *conocimiento pedagógico químico* (CPQ) ya que el contenido explorado es de química experimental. Mediante análisis de factores llega a concluir que existen dos de ellos en las respuestas de los estudiantes de licenciatura en relación con la labor prestada por sus asistentes de enseñanza (que son estudiantes de grado), uno de ellos tiene que ver con el CPQ y el otro con su labor general como mentores. En relación con el primero logra clasificar tres intensidades de CPQ, las cuales se ejemplifican en la tabla 1. La tercera columna ayuda a identificar si un profesor se sitúa en una u otra forma característica del CPQ. En resumen, una tabla como ésta puede ayudar a valorar el nivel de profundidad del CPC de un profesor determinado.

| Forma del CPQ | Conocimiento requerido | Ejemplos |
|---------------|--|---|
| CPQ-1 | Conocimiento procedimental general; técnicas específicas; procedimientos; cálculos y conocimiento sobre seguridad en cada investigación del laboratorio. | Modela y refuerza medidas de seguridad; demuestra técnicas; ataca problemas en el laboratorio; proporciona guía a los alumnos. |
| CPQ-2 | Comprensión de los tópicos y los conceptos de química, para transformarlos para que hagan sentido en los alumnos. | Correlaciona los hechos macroscópicos con los procesos del sub-microscópico; escoge ejemplos sabiamente; liga símbolos químicos con variables matemáticas y procesos en el micromundo. |
| CPQ-3 | Conocimiento flexible para probar y guiar el razonamiento estudiantil, así como confianza en sus conocimientos y su papel para dirigir el ambiente de aprendizaje. | Usa estrategias de preguntas para probar el razonamiento conceptual; proporciona una guía directa ocasional; dirige a los alumnos a trabajar a través de preguntas o problemas procedimentales. |

Tabla 1. Intensidades del conocimiento pedagógico químico en la enseñanza experimental, según Bond-Robinson (2005).

Conclusiones

Una conclusión general de la descripción de los artículos citados es lo valioso de la aportación sobre el CPC en tópicos específicos. Resulta interesante poder documentar cuáles son los objetivos de la enseñanza de un profesor renombrado, la estrategia más empleada por él, cuáles son sus opiniones sobre las limitaciones más frecuentes al aprendizaje de sus alumnos, y cuáles son sus instrumentos de evaluación estudiantil. La discusión del CPC documentado de uno o varios profesores ejemplares, por un grupo de profesores en formación podría resultar un instrumento valioso para ellos.

La perspectiva que emerge es emplear tanto los CoRe como los PaP-eRs obtenidos para que sean discutidos por profesores en formación en talleres de trabajo. A pesar de la insistencia en que el CPC se adquiere mayoritariamente como una expresión de la propia docencia, emplear estas muestras de ejemplos de profesores distinguidos en los talleres formativos sería útil porque se reduciría la novedad y la sorpresa; se le daría mayor capacidad de respuesta al profesor en formación ante posibles situaciones que lo puedan tomar inadvertido, generándose un círculo virtuoso en el que aumenta su confianza.

Sin embargo, está en veremos si puede darse un valor a un CPC determinado, para conocer si corresponde a un profesor más experimentado o más completo que otro. Para llevar a cabo ese ordenamiento axiológico del CPC de diferentes profesores sólo parece sensato proponer la *validez ecológica* de Kagan (1990), es decir, validar la labor del profesor por medio de la evaluación de sus estudiantes.

Para contribuir a la comprensión cabal del CPC y todas sus implicaciones es necesario realizar estudios que contribuyan a mejorar el proceso educativo de la química, que tomen en cuenta los conocimientos básicos de los profesores. Como De Jong, Veal y Van Driel (2002) han apuntado, “no se conoce mucho acerca de la base de conocimientos de los profesores de química respecto a temas como los de la bioquímica, la tecnología química y la cinética”.

Para dar una idea de la generalización del empleo de este concepto en la investigación educativa, se hizo una búsqueda de PCK y de Pedagogical Content Knowledge tanto en el título como en el resumen de los 292 trabajos presentados en el V Congreso de la European Science Education Research Association (ESERA), desarrollado en Barcelona en agosto de 2005, se localizó cerca de 10% de los mismos, con ponentes de 17 nacionalidades diferentes. Hay que destacar que éste es un congreso europeo y que la nacionalidad de Shulman es estadounidense.

Parece factible crear una colección de CPC sistematizados y documentados de una buena parte de los tópicos básicos de la química. Hacen falta más estudios sobre el conocimiento básico con que cuentan los profesores de química de nuestros países. Bienvenidas las propuestas de colaboración en este sentido, ya las primeras han empezado a rendir frutos (Garritz, Porro, Rembado y Trinidad, 2005; enviada).

Con lo que hemos escrito sobre el CPC basta para dar una idea de la revolución que han traído las ideas de Shulman al proceso de formación y evaluación del profesorado, así como de la necesidad de realizar estudios sobre el CPC en temas específicos.

Referencias

- BARNETT, J. y Hodson, D. (2001). "Pedagogical Context Knowledge: Toward a Fuller Understanding of What Good Science Teachers Know", *Science Education*, 85, 426-453.
- BAXTER, J. A. y Lederman, N. G. (1999). "Assessment and Measurement of Pedagogical Content Knowledge", in Gess-Newsome, J., Lederman, N. G. (eds.), *Examining Pedagogical Content Knowledge*, Dodrecht, Kluwer Academic Publishers, 147-162.
- BOND-Robinson, J. (2005). "Identifying pedagogical content knowledge (PCK) in the chemistry laboratory", *Chemistry Education Research and Practice* 6(2), 83-103.
- BUCAT, R. (2004). "Pedagogical content knowledge as a way forward: applied research in chemistry education", *Chemical Education Research and Practice*, 5(3), 215-228.
- CARLSEN, W. S. (1999). "Domains of teacher knowledge", en Gess-Newsome, J., Lederman, N. G., *Examining Pedagogical Content Knowledge*, Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 133-144.
- CLERMONT, C. P., Krajcik, J. S., Borko, H. (1993). "The influence of an intensive in-service workshop on pedagogical content knowledge growth among novice chemical demonstrators", *Journal of Research in Science Teaching*, 30(1), 21-44.
- , Borko, H., Krajcik, J. S. (1994). "Comparative study of the pedagogical content knowledge of experienced and novice chemical demonstrators", *Journal of Research in Science Teaching*, 31(4), 419-441.
- DE JONG, O., Korthagen, F. y Wubbels, T. (1998). "Research on Science Teacher Education in Europe: Teacher Thinking and Conceptual Change", en Fraser, B. J. y Tobin, K. G. (eds.), *International Handbook of Science Education*, Kluwer Academic Publishers, Printed in Great Britain, 745-758.
- , Veal, W. R. y Van Driel, J. H. (2002). "Exploring Chemistry Teachers' Knowledge Base", en J. K. Gilbert y otros (eds.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice*, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 369-390.
- GARRITZ, A. y Trinidad-Velasco, R. (2004). "El conocimiento pedagógico del contenido", *Educación Química*, 15(2), 98-102.
- , Porro, S., Rembado F. M. y Trinidad, R. (2005). "Latin-American teachers' pedagogical content knowledge of the

- particulate nature of matter”, Congreso de la European Science Education Research Association (ESERA), Symposium on Pedagogical Content Knowledge, de Jong, O. (coord.), Barcelona, August, 2005.
- , Porro, S., Rembado F. M. y Trinidad, R. (enviada). “Pedagogical knowledge of the particulate nature of matter and its relationship with the professional and curriculum experiences of teachers”, *Chemical Education Research and Practice*, 2006.
- GEDDIS, A. N. (1993). “Transforming subject matter knowledge: the role of pedagogical content knowledge in learning to reflect on teaching”, *International Journal of Science Education*, 15(6), 673-683.
- , Onslow, B., Beynon, C. y Oesch, J. (1993). “Transforming Content Knowledge: Learning to Teach about Isotopes”, *Science Education*, 77(6), 575-591.
- GESS-Newsome, J., y Lederman, N. G. (1999). *Examining Pedagogical Content Knowledge. The Construct and its Implications for Science Education*, Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers, xii + 306 pp.
- GROSSMAN, P. L. (1990). *The making of a teacher: Teacher knowledge and teacher education*, New York, Teacher College Press.
- HOFSTEIN, A., Carmi, M. and Ben-Zvi, R. (2003). “The Development of Leadership among Chemistry Teachers in Israel”, *International Journal of Science and Mathematics Education*, 1, 39-65.
- , Carmeli, M. and Shore, R. (2004). “The Professional development of High School Chemistry Coordinators”, *Journal of Science Teacher Education*, 15(1), 3-24.
- (2004). “The laboratory in chemistry education: thirty years of experience with developments, implementation, and research”, *Chemistry Education Research and Practice*, 5(3), 247-264.
- y Lunetta, V. N. (2004). « The laboratory in science education: Foundation for the 21st century”, *Science Education*, 88, 28-54.
- KAGAN, D. M. (1990). “Ways of Evaluating Teacher Cognition: Inferences Concerning the Goldilocks Principle”, *Review of Educational Research*, 60(3), 419-469.
- KOBALLA, T., Gräber, W., Coleman, D. C., Kemp, A. C. (2000). “Prospective *gymnasium* teacher’s conceptions of chemistry learning and teaching”, *International Journal of Science Education*, 22, 209-224.
- LOUGHRAN, J., Milroy, P., Gunstone, R., Berry, A. y Mulhall, P. (2001). “Documenting Science Teachers’ Pedagogical Content Knowledge Through PaP-eRs”, *Research in Science Education*, 31, 289-307.
- , Mulhall, P. y Berry, A. (2004). “In Search of Pedagogical Content Knowledge in Science: Developing Ways of Articulating and Documenting Professional Practice”, *Journal of Research in Science Teaching*, 41(4), 370-391.
- MELLADO, V. (1996). “Profesores de Ciencias en formación de Primaria y Secundaria. Concepciones y práctica del aula”, *Enseñanza de las Ciencias*, 14(3), 289-302.
- MULHALL, P., Berry, A. y Loughran, J. (2003). “Frameworks for representing science teachers’ pedagogical content knowledge”, *Asia Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, vol. 4, núm. 2, artículo 2 consultado el 23 de diciembre de 2005 en la URL http://www.ied.edu.hk/apfslt/v4_issue2/mulhall/index.htm#contents

- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996). *National Science Education Standards*, Washington, DC, National Academic Press, ix + 252 pp.
- SÁNCHEZ-Blanco, G. y Valcárcel-Pérez, M.V. (2000). "Relación entre el conocimiento científico y el conocimiento didáctico del contenido: un problema en la formación inicial del profesor de secundaria", *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 24, 78-86.
- SHULMAN, L. S. (1986). "Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching", *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.
- y Sykes, G. (1986). *A national board for teaching? In search of a bold standard: A report for the task force on teaching as a profession*, New York, Carnegie Corporation.
- (1987). "Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform", *Harvard Educational Review*, 57(1), 1-22.
- (1999). Foreword en Gess-Newsome, J., Lederman, N. G. (eds.), *Examining Pedagogical Content Knowledge. The Construct and its Implications for Science Education*, Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers, ix-xii.
- TALANQUER, V., Novodvorsky, I., Slater, T. F., Tomanek, D. (2003). "A Stronger Role for Science Departments in the Preparation of Future Chemistry Teachers", *Journal of Chemical Education*, 80(10), 1168-1171.
- (2004). "Formación docente: ¿Qué conocimiento distingue a los buenos maestros de química?", *Educación Química*, 15(1), 52-58.
- (2005). "Recreating a Periodic Table: A Tool for Developing Pedagogical Content Knowledge", *The Chemical Educator*, 10, 95-99.
- THIELE, R. y Treagust, D. (1994). "An interpretative examination of high school chemistry teachers' analogical explanations", *Journal of Research in Science Teaching*, 31(3), 227-242.
- TREAGUST, D. F., Chittleborough, G., Mamiala, T. L. (2003). "The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations", *International Journal of Science Education*, 25(11), 1353-1368.
- VAN DRIEL, J. H., Verloop, N., de Vos, W. (1998). "Developing Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge", *Journal of Research in Science Teaching*, 35(6), 673-695.
- , de Jong, O., Verloop, N. (2002). "The Development of Preservice Chemistry Teachers' Pedagogical Content Knowledge", *Science Education*, 86(4), 572-590.
- VEAL, W. R. (2004). "Beliefs and knowledge in chemistry teacher development", *International Journal of Science Education*, 26(3), 329-351.
- (2002). "Content Specific Vignettes as Tools for Research and Teaching", *Electronic Journal of Science Education*, 6(4), Article two. Versión electrónica consultada el 23 de diciembre de 2005, en la siguiente URL <http://unr.edu/homepage/crowther/ejse/ejsev6n4.html>

Química dialéctica

Sobre aprendizaje, modelos y realidad

José Antonio Chamizo

el laberinto es un temor
pero es también una esperanza;
es un temor porque estamos perdidos
pero es una esperanza porque hay un centro
porque hay un plano
porque hay una arquitectura.

J.L.Borges

Introducción

El presente texto es resultado de una larga reflexión acerca de los modelos y de la realidad que éstos intentan representar. Puedo recordar claramente la ponencia de Carlos Castañeda sobre los modelos teóricos en los que criticaba a Achinstein a partir de Koscic en el lejano 1981, en un congreso de educación en Cuernavaca. Lo allí dicho y la subsiguiente discusión con Diana Cruz y Andoni Garritz en las largas e intensas noches en las que compartíamos la escritura de *Estructura atómica. Un enfoque químico* perfilaron una idea que después de varios balbuceos y retrasos fue tomando forma. Así, cuando Gisela Hernández me invitó a impartir un módulo en su diplomado para profesores de la Facultad de Química les presenté lo que sería seguramente el último borrador sobre la química dialéctica que mis compañeros del Seminario de Investigación Educativa tuvieron a bien conocer, y con su crítica... desde luego mejorar.

Realidad

El tema es antiguo y como tal nadie lo presenta mejor que Platón quien en su famosa *República* indica:

—Ahora, imagínate a la naturaleza humana, respecto a la ciencia y la ignorancia, de acuerdo con la situación que voy a presentar. Piensa en un lugar subterráneo que a todo lo largo tenga una abertura por donde la luz pase libremente. En esa cueva hay hombres encadenados desde su infancia de piernas y cuello, de tal manera que no pueden desplazarse ni voltear la cabeza y sólo ven los objetos que tienen enfrente. Detrás de ellos, a determinada distancia y altura hay un fuego cuyo resplandor les alumbra, y un camino escarpado entre ese fuego y los cautivos. Supón que a lo largo de ese sendero hay un muro, parecido al que los charlatanes ponen entre ellos y el público para ocultar la combinación y los resortes secretos de lo que hacen.

—Me imagino todo eso.

—Figúrate que las personas que pasan por el muro llevan todo tipo de objetos, figuras de hombres, de animales, de madera o de piedra, de tal manera que las cosas aparezcan sobre el muro. Algunos de los portadores de tales objetos se detienen a platicar y otros pasan de largo.

—¡Extraños prisioneros y cuadro singular!

—No obstante, se parecen a nosotros, punto por punto. ¿Crees que vean otra cosa de sí mismos y de quienes los rodean más que las sombras que se producirán frente a ellos en el fondo de la cueva?

—¿Qué otra cosa podrán ver si desde que nacieron no pueden mover la cabeza?

—¿Y ven algo más que la sombra de los objetos que pasan detrás de ellos?

—No.

—Si pudieran hablar entre sí, ¿no darían a las sombras que ven los nombres de las cosas mismas?

—Así es.

—Y si en el fondo de la cueva hubiera un eco que repitiese las palabras de los transeúntes, ¿no creerían que hablan las sombras que desfilan ante sus ojos?

—Sí.

—No pensarían que existe una realidad diferente a la de las sombras.

—En efecto.

—Mira lo que por naturaleza sucedería a estos hombres si se les desencadena y saca de su error. Les costará un trabajo terrible levantarse de repente, volver la cabeza, caminar y ver la luz, ella les lastimará los ojos y la alucinación que les produzca les impedirá distinguir los objetos, cuyas sombras veían antes. ¿Qué crees que responderían si se les dijese que lo que hasta entonces habían visto eran fantasmas, y que ahora tienen ante sus ojos objetos reales que se van asemejando más a la realidad? Si se les muestran las cosas a medida que se vayan presentando y con preguntas se les obliga a decir qué son, ¿no se les pondrá en un grave conflicto y no estarán convencidos de que lo que antes veían era más real que lo que ahora se les presenta?

—Sin duda.

—¿Si se les obligase a mirar el fuego sentirían molestias en los ojos?¿No volverían la mirada hacia las sombras, las cuales pueden ver sin esfuerzo?¿No distinguirían con más claridad en ellas que en lo que ahora se les muestra?

—Con toda seguridad.

—Si después se les saca de la cueva y se les lleva por el escarpado camino hasta encontrar la claridad del sol, sería un suplicio para ellos tratarlos así ¿Cómo se enfurecerían! Y una vez que logran soportar la luz del Sol, ¿podrían ver, deslumbrados con tanta claridad, algunos de los muchos objetos que llamamos seres reales?

—De inmediato, no.

—Evidentemente necesitarían de algún tiempo para acostumbrarse a ello. Lo que distinguirían con más facilidad serían, primero, las sombras; después las imágenes de los hombres y demás objetos reflejados en la superficie de las aguas, y por último los objetos mismos. Luego dirigirían la mirada al cielo, al cual observarían mejor en la noche a la luz de la Luna y de las estrellas y no con el Sol.

—Así es.

—Y finalmente podrían ver no sólo la imagen del Sol en las aguas y en donde quiera que se refleje, sino fijarse en él y contemplarlo.

—Sí.

—Después, una vez que empezaran a razonar, concluirían que el Sol da origen a las estaciones y los años, que rige a todo el mundo visible, y el que de alguna manera produce las imágenes que veían en la cueva.

—Es claro que lograrían hacer todas esas reflexiones por pasos.

—Si en aquel acto recordaran su primera estancia, la idea que allí se tiene de la sabiduría, ¿no se alegrarían de su mudanza y no se compadecerían de la desgracia de sus compañeros esclavos?

—Con toda seguridad.

—¿Enviarían los honores, las alabanzas y las recompensas que se otorgaban al que más rápido observaba las sombras a su paso?¿Al que con mayor seguridad recordaba el orden en que pasaban unas delante o detrás o todas juntas, y que en ese concepto era el más hábil para adivinar su aparición?¿O que sentirían envidia por los que en esta prisión eran más poderosos y honrados?....

—Bien querido Glaucón, ésta es la imagen de la condición humana. La cueva es el mundo visible; el fuego que le ilumina, el Sol; el cautivo que sube a la región superior y la contempla, es el alma que se eleva a la esfera inteligible [...]

Desde el antiguo idealismo de Platón hasta el reciente materialismo marxista de Kosic muchos filósofos han escrito sobre el tema de la realidad y cómo la conocemos. Este último dice en su *Dialéctica de lo concreto* (Kosic, 1979):

[...] el conocimiento se realiza como separación del fenómeno [...] (la totalidad externa) respecto de la esencia, de lo secundario respecto de lo esencial, ya que sólo mediante tal separación se puede mostrar la coherencia interna, y con ello, el carácter específico de la cosa. En este proceso no se deja a un lado lo secundario, ni se le separa como algo irreal o menos real, sino que se revela en su carácter fenoménico, o secundario, mediante la demostración de su verdad en la esencia de la cosa. Esta descomposición del todo unitario, que es un elemento constitutivo del conocimiento filosófico —en efecto, sin tal descomposición no hay conocimiento— demuestra una estructura análoga a la del obrar humano puesto que también éste se basa en la desintegración del todo [...]

¿Enseñar?

Hasta aquí Platón, la metáfora de la caverna, y la dialéctica de lo concreto que conducen de inmediato al asunto de los modelos. En éste como en otros complejos asuntos será mejor caracterizarlos, poco a poco, entender sus peculiaridades, rodearlos, cercarlos y recordar lo frágil que es el saber... lo anterior sin olvidar las siguientes tres preguntas, centrales en el terreno de la enseñanza de la ciencia (en particular de la química construida a partir de modelos; Suckling, 1987) y que estarán presentes a lo largo del texto:

- ¿para qué enseñar?
- ¿qué enseñar?
- ¿cómo enseñar?

El pensador francés E. Morin adelanta una primera respuesta (Morin, 2003):

Afrontar la dificultad de la comprensión humana requeriría no de enseñanzas separadas, sino de una pedagogía conjunta que agrupara al filósofo, al psicólogo, al sociólogo, al historiador, al escritor, lo que se conjugaría en una *iniciación a la lucidez*. La iniciación a la lucidez es en sí inseparable de una iniciación a la omnipresencia del problema del error.

Es necesario enseñar, desde la escuela primaria, que toda percepción es una traducción reconstructora operada por el cerebro a partir de terminales sensoriales, y que ningún conocimiento puede dejar de ser una interpretación.

Modelos

Los modelos tienen varias características, se identificarán nueve de ellas (Achinstein 1987; Giere 1997; Justi, 2002; Bailer-Jones, 2002), se discutirán brevemente y ejemplificarán a continuación:

- 1) Son representaciones.
- 2) Son instrumentos.
- 3) Son analogías con la realidad.
- 4) Son diferentes de la realidad.
- 5) Se construyen.
- 6) Se desarrollan de manera iterativa a lo largo de la historia.
- 7) Deben ser aceptados por la comunidad científica.
- 8) Pueden ser de dos tipos: icónicos y conceptuales.
- 9) Conforman las teorías.

| | |
|------------------|---|
| • Objeto | coche |
| • Sistema | mapa del metro |
| • Proceso | la combustión de un cerillo la producción de cloruro de metileno |

Figura 1. Ejemplos de los modelos como representaciones.

1) Un modelo siempre está relacionado con un objeto, un sistema, o un proceso. El modelo representa al objeto, sistema, o proceso.

Obviamente los modelos lo son de “algo”. El mundo real es tan extraordinariamente complejo, en cada objeto o sistema o proceso influyen tantas y tan diversas variables que para intentar entenderlo inequívocamente relacionamos un objeto, sistema o proceso del mismo con un modelo que, como se verá más adelante lo simplifica.

2) Un modelo es un instrumento para responder las preguntas de la ciencia. Se emplea para obtener información que no puede obtenerse directamente.

- Un átomo
- Un dinosaurio
- Un hoyo negro
- Una rata macho Sprague-Dawley

Figura 2. Ejemplos de los modelos como instrumentos.

La ciencia no empieza en los hechos, sino en las preguntas. Los hechos no son independientes de los observadores y de sus maneras de ver el mundo. Por ello, en un momento y en una cultura determinados, es posible que todos los observadores coincidan en un cierto hecho. Hay hechos a los que no puede accederse directamente ya sea por su tamaño (un átomo o un hoyo negro), su lejanía (temporal como los dinosaurios o material como los hoyos negros) o complejidad (una rata macho Sprague-Dawley que se utiliza de manera estandarizada en las investigaciones biomédicas). Esta imposibilidad ha suscitado a lo largo de la historia diversas preocupaciones entre destacados científicos que incluso han querido desterrar las palabras que relacionan los modelos con la realidad. Las siguientes citas así lo indican para el caso particular de los átomos (Chamizo, 1996).

Si estuviera en mis manos borraría la palabra átomo de la ciencia persuadido de que va más allá de la experiencia.

Dumas, 1837

No admito ni la ley de Avogadro, ni los átomos, ni las moléculas; me resisto a creer en lo que no puedo ver ni imaginar.

Sainte-Claire Deville, 1860

Aunque no sepamos nada de lo que es un átomo, no podemos evitar formarnos alguna idea de una pequeña partícula que se nos representa en la imaginación; y aunque nuestra ignorancia de la electricidad sea al menos igual, porque somos incapaces de decir si ella es una materia, o varias, o simplemente un movimiento de la materia común, o más bien un tercer género de potencia o de agente, sin embargo *existe un número inmenso de hechos que nos autorizan a pensar que los átomos de materia están en cierta manera dotados de potencias eléctricas*, o están asociados con estas potencias, a las que están obligados por sus cualidades más notables, en especial por sus afinidades mutuas.

M. Faraday 1833

Faraday centra el problema. De acuerdo con lo que dice y al asumir la racionalidad como una de las principales características de la ciencia, en la que se prioriza la evaluación de la realidad, la cual ya en la primera mitad del siglo XIX pedía a gritos (valga la metáfora) la explicación de la materia a través de los átomos, tenemos que, de acuerdo con Savater (Savater, 2004):

juzgamos *irracional* al que mantiene su adhesión a creencias contradictorias, aun sabiendo que lo son, o al que niega evidencias que le es imposible ignorar.

3) Los modelos guardan ciertas *analogías* con el objeto, sistema, fenómeno o proceso que representan de manera que se pueden derivar hipótesis (y/o predicciones) del mismo y someterlas a prueba. Los resultados de esta prueba dan nueva información sobre el modelo.

- **1987, Thomson-budín con pasas**
(la existencia de los protones).
- **1911, Rutherford-núcleo con carga positiva**
(atracción de los electrones por el núcleo).
- **1913, Bohr-sistema solar**
(naturaleza ondulatoria del electrón).
- **1926, Schoedinger-aquí no hay analogía macroscópica**
(los electrones a pesar de tener la misma carga pueden ocupar espacios cercanos asunto que se explica a través del spin).

Figura 3. Ejemplos de los modelos atómicos como analogías (año en que fueron propuestos y evidencia experimental que no pudieron incorporar).

Sobre esta relación Bailer-Jones comenta (Bailer-Jones, 2002):

Las analogías frecuentemente aparecen en la ciencia porque apoyan la función central de los modelos: la explicación.

En su trabajo sobre los conceptos Achinstein indica (Achinstein, 1968):

Las analogías son empleadas en la ciencia para promover el entendimiento de los conceptos. Lo hacen indicando similitudes entre los conceptos nuevos y los conocidos. Indican también como los principios pueden ser formulados y las teorías ampliadas. Por ejemplo si notamos una cierta similitud entre los fenómenos de atracción electrostática y gravitacional y si los principios que gobiernan a

uno de ellos son conocidos, entonces, dependiendo del grado de similitud, es posible proponer que principios semejantes gobiernan el otro.

Aquí es fundamental “el grado de similitud” ya que nos remite de manera muy clara a que la analogía no es la realidad. De hecho la analogía se separa de la realidad que intenta representar una vez que ante la prueba experimental se encuentra información que no puede “acomodar”. Así las analogías y los modelos que se construyen sobre ellas son reemplazables por otros que sí pueden incorporar la nueva evidencia.

Hoy el modelo atómico de Dirac, derivado de la mecánica cuántica relativista parece ser la mejor explicación que tenemos sobre el átomo de hidrógeno.

4) Los modelos se diferencian de los objetos, sistemas, o procesos que representan. En general son más sencillos y lo que se les ha eliminado no tiene interés explícito para lo que fundamentalmente representan.

- **Modelo atómico de Lewis**
(los electrones no se mueven, ni cumplen con la ley de Coulomb).
- **Modelo de Debye-Hückel**
(soluciones infinitamente diluidas).
- **Modelo de campo cristalino**
(ligantes como cargas puntuales).
- **Modelo cinético de los gases**
(las partículas no tienen estructura interna).

Figura 4. Ejemplos de diferencias entre los modelos y los objetos, sistemas, o procesos que representan.

Los modelos se construyen para responder una pregunta, no todas, por ello es crucial identificar el sentido del modelo, para qué se construyó, de dónde viene y de alguna forma a dónde va. Así se está en posibilidades de reconocer lo que se ha eliminado de la realidad para poder entenderla mejor. Por ejemplo, en el modelo atómico de Lewis que busca explicar la naturaleza del enlace químico y la estructura de las moléculas, el que los electrones no caigan al núcleo o que no se repelan entre sí, tiene poca importancia una vez que con su uso se responde a las preguntas que importaban en su tiempo (y aún hoy en día) a los químicos, aquellas relacionadas con la estructura molecular (a las que respondía y aún hoy responde bien).

5) La *construcción* de un modelo es un compromiso entre las analogías y las diferencias que tienen con los objetos, sistemas, o procesos que representan.

| | |
|---------------------------|-------------------------|
| • Modelo de gas ideal | $p = RT/v$ |
| • Modelo de van der Waals | $p = RT/(v-b) - a/v^2$ |
| • Modelo de Berthelot | $p = RT/(v-b) - a/Tv^2$ |

Figura 5. Ejemplo del compromiso entre analogías y diferencias para la representación de los gases.

Así cuando el modelo ideal no encaja con los datos empíricos obtenidos puede ser ampliado y corregido. El modelo del gas ideal es un ejemplo perfecto. Reconocidos sus logros pero evidenciando sus carencias van der Waals introdujo dos constantes con “sentido físico” que modelaban mejor a los gases. Con la incorporación de dos nuevas constantes a y b mejoró la descripción de los gases representadas por la ecuación del gas “ideal”. Así a/v^2 representa la atracción, entre sí, de las partículas cerca de las paredes del recipiente y b considera que efectivamente estas partículas tienen un volumen propio. Este tipo de compromiso para los gases ha sido extendido por modelos como el de Berthelot o el de Beattie-Bridgeman.

6) Los modelos se *desarrollan* a través de un proceso iterativo en el cual la evidencia empírica permite revisar y modificar los presupuestos básicos de los mismos. Un modelo es generalmente uno, en una *secuencia histórica* en un área particular del saber científico.

La historia de la ciencia es rica en ejemplos de cómo las comunidades científicas han desarrollado modelos para explicar el mundo real y como éstos han evolucionado para acomodar la evidencia empírica acerca de los hechos observados. La Figura 3 es un ejemplo de lo anterior. En la misma línea de pensamiento hay que recordar a Popper (citado por Savater, 2003) cuando dice:

No disponemos de criterios de verdad y esta situación nos incita al pesimismo. Pero poseemos en cambio criterios que *con ayuda de la suerte*, pueden permitirnos reconocer el error de la falsedad.

7) Un modelo es aceptado como conocimiento científico cuando ha sido publicado en una revista especializada.

La ciencia es conocimiento público sujeto a comprobación por otras personas, generalmente científicos. Es esa posibilidad de repetir una y otra vez los experimentos y las observaciones en diferentes condiciones de tiempo y espacio, y validarlos comúnmente, lo que hace que el conocimiento científico sea objetivo y confiable.

Uno de los ejemplos más famosos de lo anterior proviene de la astronomía. Cuando en 1687 Newton publicó su *Principia* lo que hizo fue describir el mundo físico a partir de modelos que no hacían referencia explícita a objetos del mundo real. Unos años más tarde, en 1695, E. Halley un astrónomo y amigo de Newton aplicó dichos modelos para explicar el movimiento de los cometas. Así pudo predecir que a finales del entonces lejano 1758 regresaría un cometa que se había observado en 1530-1531, 1607-1607 y 1682. El asunto no era tan sencillo una vez que junto con estas observaciones “confiables” de cometas había al menos otras 24 en otras tantas fechas. Halley publicó su trabajo en 1705 el cual fue recibido con entusiasmo en Inglaterra y, como era de esperarse, con escepticismo en Francia. Pasaron los años, Halley murió 15 años antes de 1758 pero para ese entonces la evidencia experimental sobre los modelos de Newton era tan amplia que en 1756 la misma Academia de Ciencias de Francia ofreció un premio a la predicción más exacta del retorno del cometa, el cual apareció, ya bautizado como cometa Halley antes de la navidad del esperado 1758.

8) Los modelos pueden ser: icónicos y conceptuales.

De entre las muchas y diversas clasificaciones de los modelos la adelantada por Bruner (Bruner, 1967) y aquí simplificada parece ser de las más relevantes para discutir el aprendizaje. Así entre los primeros tipos de modelos tenemos sobre todo imágenes u objetos de tamaño diferente a lo que representan: mapas, o los aviones y automóviles a escala que se prueban en los túneles de viento para mejorar su desempeño (no el de ellos, sino el de los aviones y automóviles reales).

- Li
- H₂O
- CH₃-CH₂-CH₃(s)
- PV = nRT
- HΨ = EΨ

Figura 6. Ejemplos de modelos conceptuales.

Los segundos son aquellos relacionados con el lenguaje, ya sea a través de formulas matemáticas o de símbolos (como es el caso del lenguaje químico), por lo que no hay que olvidar la frase de Toulmin (Toulmin, 1977):

Cada uno de nosotros piensa sus propios pensamientos; pero los conceptos los compartimos con nuestros semejantes.

Actualmente se discute si la ciencia puede expresarse sin la necesidad de leyes (Giere, 1999) y si los modelos conceptuales pueden ser identificados con éstas, como se ejemplifica en la Figura 6. Uno de los filósofos que así lo propone, F. Suppe (Suppe, 1989), va más lejos al clasificar, aclarando de alguna manera lo que entendemos por modelo conceptual, la leyes en tres tipos:

- de coexistencia (estados del sistema) como $PV = nRT$
- de sucesión (trayectorias en el tiempo) que para el caso de la química puede ejemplificarse con $k_1 t = \ln ([A]_0 / ([A]_0 - x)$
- de interacción (entre dos o más sistemas) como es el caso de la interacción entre una partícula y el aparato de medición o también la situación descrita por Schroedinger, $H\Psi = E\Psi$

Al aceptar la propuesta de Suppe la anterior clasificación podría ser también de los modelos conceptuales.

9) Una teoría es una explicación amplia y bien fundamentada de algún aspecto del universo. Está integrada por un conjunto de modelos.

La propuesta de que una teoría científica no sea otra cosa más que una familia de modelos se la debemos al filósofo norteamericano R. Giere (Giere, 1999). Para él, una vez que este término, al igual que el de ley, se usa tan ampliamente en todos los ámbitos sociales en lugar de precisar aspectos del universo, confunde. Revolucionaria como es, la propuesta tiene a su vez el problema de confundir los modelos con las propias teorías.

- Modelo del ADN para identificar similitudes y diferencias entre las especies biológicas.
- Modelo de "sopa primigenia" (Miller).
- Modelo de "condensación" de polvo para la formación de la Tierra.
- Modelo (¿teoría?) del Big Bang.

Figura 7. Ejemplo de los modelos que integran la teoría de la evolución.

La caracterización de los modelos que acabo de presentar representa un enorme desafío a la visión tradicional de la química, una vez que "asuntos" como: orbitales moleculares, número de oxidación, ácidos y bases duros y blandos, sustitución nucleofílica bimolecular, $PV=nRT$, octeto de valencia, primera ley de la termodinámica, aromaticidad, entropía, enlace covalente, $t_{1/2}$ hibridación, fuerzas de van der Waals, campo cristalino, Debye-Hückel, toxicidad, etc... ¡son modelos!...no realidades.

Giere (Giere, 1999) resume lo anterior mediante el esquema mostrado en la Figura 8.

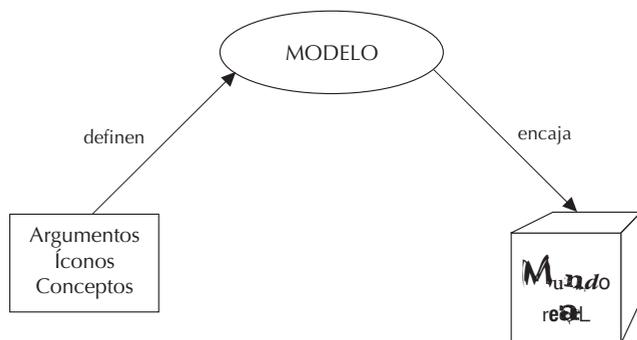


Figura 8. Los modelos y la realidad (Giere, 1999).

Aprendizaje

La distinción entre modelos y realidad nos lleva a otro asunto, nuestro asunto, el que guía este trabajo. Recordemos las preguntas iniciales:

- ¿para qué enseñar?
- ¿qué enseñar?
- ¿cómo enseñar?

Se puede ahora intentar dar algunas respuestas, al retomar dos líneas de argumentación. La primera es una pregunta derivada del trabajo de D. Hodson (Hodson, 2003):

Hay un extenso reconocimiento entre los educadores de la ciencia que ésta es un producto de su lugar y su tiempo, intensamente relacionada con la cultura y las instituciones locales y profundamente influida por sus métodos de generación y validación [...] sin embargo, a pesar de lo mucho que se ha logrado hay razones para estar muy preocupados. Muchos estudiantes no aprenden lo que nosotros quisiéramos: su conocimiento sobre la ciencia y la capacidad de usar tal conocimiento efectivamente están lejos de lo que ambicionamos; su entendimiento sobre la naturaleza y los métodos de la ciencia son generalmente incoherentes, distorsionados y confusos.

[...] Ahora, por primera vez en la historia, estamos educando alumnos para vivir en un mundo acerca del cual sabemos muy poco, excepto que estará caracterizado por un vertiginoso cambio y que será más complejo e incierto que el mundo de hoy [...] ¿qué tipo de educación en ciencias es apropiada para preparar a nuestros estudiantes para ese desconocido mundo del futuro?

La respuesta la da enfáticamente otro investigador inglés, G. Claxton, en su famoso libro *Enseñar mentes curiosas* (Claxton 1994, las cursivas son mías):

En el mundo en el que van a vivir los jóvenes, nada podría tener más valor que la capacidad de construir nuestra propia vida a medida que la vivimos: encontrar nosotros mismos qué es lo que nos satisface, conocer nuestros propios valores y nuestra propia mente, enfrentarnos a la incertidumbre con coraje e ingenio, y valorar lo que nos dicen los demás con un escepticismo inteligente y sano...La preocupación fundamental de una educación contemporánea útil debe centrarse en la capacidad de las personas para aprender bien. Cualquier otra prioridad, por muy apreciada que sea, que socave el compromiso de *fomentar la habilidad para el manejo del cambio* o nuestro éxito en hacerlo, deberá ser relegada o suspendida.

La respuesta a la segunda pregunta, que sin duda tiene que ver con la primera y también con la tercera se encuentra en la ciencia escolar, cuya reciente fundamentación epistemológica permite relacionar y separar el quehacer de los científicos profesionales con la actividad desarrollada en el aula, la cual se puede caracterizar alrededor de tres temas: la importancia de los procesos metacognitivos (hay que enseñar a los estudiantes a pensar); la importancia de las ideas previas (de los propios estudiantes...y por qué no decirlo, de algunos profesores); la transposición didáctica (Izquierdo 2003):

La analogía del 'estudiante como científico' centrada en el método experimental como un proceso de justificación del conocimiento ha sido considerada apropiada por más de un siglo, pero hoy es insuficiente. La presente reflexión entre los expertos acerca de la ciencia y la educación en ciencias desde la perspectiva de la 'nueva historia y filosofía de la ciencia' y de las ciencias cognitivas cuestiona severamente esta analogía y sugiere nuevos campos de investigación en la enseñanza de las ciencias. Hoy contamos con un nuevo paradigma acerca de la ciencia que puede ser útil para la enseñanza de la ciencia, en el que se establece una conexión gradual entre los modelos teóricos propios de la ciencia y las representaciones mentales que los estudiantes tienen sobre los fenómenos naturales [...] La ciencia escolar debe permitir a los alumnos explicarse adecuadamente algunos de los fenómenos naturales que requieren para entender la sociedad en la que viven.

En esta misma línea de pensamiento y acercándonos a la respuesta a la tercera pregunta se encuentra la investigación de Grosslight (Grosslight, 1991) en la que identificó la diferencia en

cómo interpretan los modelos los expertos (es decir los científicos) de los aprendices (es decir los alumnos).

| |
|---|
| <p>Aprendices</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los modelos son icónicos. • Ayudan a comunicarse con el mundo real. • Modelos diferentes del mismo objeto, sistema, fenómeno o proceso muestran diferentes aspectos del objeto, sistema, o proceso real. • Los modelos pueden cambiar si son equivocados o se encuentra nueva información. |
| <p>Expertos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los modelos son icónicos y conceptuales. • Los modelos ayudan a entender o pensar sobre un objeto, sistema, o proceso. • La validez de un modelo puede probarse al comparar sus implicaciones con observaciones y mediciones del mundo real. • Diferentes modelos de diferentes objetos, sistemas, o procesos pueden construirse para diferentes propósitos. • Los modelos son reemplazados por otros mejores. |

Figura 9. Comparación en cómo interpretan los modelos aprendices y expertos.

Pasar de la interpretación de los aprendices a la de los expertos es ya una primera respuesta, adelantada por Bruner en el lejano 1966, a “cómo” hacerlo, para ello hay que construir (recordemos las características 4 y 5 de los modelos) y enseñar modelos didácticos (Chamizo 1991a, 1991b, 1992; Galagovsky 2001; Sánchez Blanco 2003; Caamaño 2003), también hay que aprender a modelar (Justi, 2002). Pero no sólo esto, aquí también ayuda lo que escribió en su último artículo antes de morir la inglesa R. Driver, pionera en la investigación sobre las ideas previas de niños y adolescentes, siguiendo las ideas propuestas por Giere (Driver, 2000):

La actividad principal de los científicos es evaluar cuál de entre dos o más modelos rivales encajan con la evidencia disponible y por lo tanto cuál representa la explicación más convincente para determinado fenómeno en el mundo.

Si ésta es la actividad principal de los científicos, una de las herramientas imprescindibles para hacerlo, y que por ello es necesario incorporar en los currículos de ciencias, como adelanta la misma Driver, es la argumentación, la argumentación racional.

Conclusiones

De entre las varias respuestas que se están dando a la compleja y cada día más difícil tarea de enseñar la ciencia, para que sea aprendida, el uso de modelos aparece como una de las más promisorias. Volviendo de alguna manera al principio como Morin indica (Morin, 2003):

A un pensamiento que aísla hay que sustituirlo por un pensamiento que distingue y una. A un pensamiento disyuntivo y reductor hay que sustituirlo por un pensamiento de lo complejo, en el sentido originario del término *complexus*: lo que está tejido junto.

Es este pensamiento de lo complejo el que nos lleva, para terminar, al tristemente olvidado filósofo checoslovaco K. Kosic cuando dice (Kosic, 1968):

La dialéctica trata de la “cosa misma”. Pero la “cosa misma” no se manifiesta inmediatamente al hombre. Para captarla se requiere no sólo hacer un esfuerzo, sino también dar un rodeo. Por esta razón, el pensamiento dialéctico distingue entre representación y concepto de las cosas [...]

Referencias

- ACHINSTEIN, P. (1987). *Los modelos teóricos*, Seminario de problemas científicos y filosóficos, México, UNAM.
- BAILAR-Jones, D. (2002). “Models, Metaphors and analogies”, en *Philosophy of Science*, Machamer, P. and Silbestein, M. (eds.), Oxford, Blackwell Publishers.
- BRUNER, J.S. (1967). *Towards a theory of Instruction*, Boston, Harvard University Press.
- CAAMAÑO, A. (2003). “Modelos híbridos en la enseñanza y el aprendizaje de la química”, *Alambique*, 35, 70-81.
- CLAXTON, G. (1994). *Educar mentes curiosas. El reto de la ciencia en la escuela*, Madrid, Visor.
- CHAMIZO, J.A. (1991a). “Modelo de los 18 electrones”, *Cuadernos de la DGPA. Química Inorgánica*, 33-38, México, UNAM/Porrúa.
- (1991b). “Modelo de ácidos y bases duros y blandos”, *Cuadernos de la DGPA. Química Inorgánica*, 57-60, México, UNAM/Porrúa.
- (1992). “Modelos del enlace químico”, *Elementos*, 2, 28-32.
- (1996). “Enseñar lo esencial acerca de lo más pequeño”, *Sociedad Química de México*, 40, 88-94, *Educación Química* 7, 7-12.
- DRIVER, R., Newton P., Osborne J. (2000). “Establishing the Norms of Scientific Argumentation in Classrooms”, *Science Education*, 84, 287-312.

- GALAGOVSKY, L. y Arduriz-Bravo, A. (2001). "Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico", *Enseñanza de las ciencias*, 19, 231-242.
- GIERE, R.N. (1997). *Understanding Scientific Reasoning*, Forth Worth, Harcourt Brace College Publishers.
- (1999). *Science without laws*, Chicago, Chicago University Press.
- GROSSLIGHT, L., Unger, C., Jay, E. and Smith, C. (1991). "Understanding models and their use in science conceptions of middle and high school students and experts", *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 9, 799-822.
- HODSON, D. (2003). "Time for actino:science education for an alternative future", *International Journal of Science Education*, 25, 645-670.
- IZQUIERDO, M., Adúriz, A. (2003). "Epistemological Foundations of School Science", *Science Education*, 12, 27-43.
- JUSTÍ, R., Gilbert, J.K. (2002a). "Models and modelling in Chemical Education", *Chemical Education: Towards Research-based Practice*, Kluwer.
- , Gilbert, J.K. (2002b). "Philosophy of chemistry in university chemical education: The case of Models and modelling", *Foundations of Chemistry*, 4, 213-240.
- KOSIK, K. (1979). *Dialéctica de lo concreto*. México/Buenos Aires, Grijalbo.
- MORIN, E. (2003). *La mente bien ordenada*, Barcelona, Seix Barral.
- SAVATER, F. (2003). *El valor de elegir*, Barcelona, Ariel.
- SÁNCHEZ Blanco, G. y Valcárcel, M.V. (2003). "Los modelos en la enseñanza de la química: concepto de sustancia pura", *Alambique*, 35, 45-52.
- SUCKLING, C.J., Suckling, K.E., Suckling, C.W. (1978). *Chemistry through models*, Cambridge, Cambridge University Press.
- TOULMIN, S. (1977). *La comprensión humana I. El uso colectivo y la evolución de los conceptos*, Madrid, Alianza.

¿Qué cambia y qué permanece en el aprendizaje del enlace químico en nuestros estudiantes?

Silvia Bello Garcés

Introducción

Como es bien sabido, la enseñanza de las ciencias enfrenta la existencia en los alumnos de fuertes concepciones alternativas a los conceptos científicos, que limitan el aprendizaje y, frecuentemente, sobreviven a la instrucción científica. Se les puede considerar un mecanismo de adaptación al medio (Bello y Valdez, 2002; Bello, 2004), por ello es importante conocerlas en cualquier ámbito del conocimiento y no sólo en la enseñanza y aprendizaje de la ciencia.

Las ideas previas —también conocidas con otras denominaciones como: concepciones alternativas, preconcepciones (*misconceptions*, en inglés), ciencia de los niños, etc.— son construcciones que los sujetos elaboran para dar respuesta a su necesidad de interpretar fenómenos naturales, o conceptos científicos, y para brindar explicaciones, descripciones o predicciones. Muchas de ellas son incorrectas, otras son explicaciones incompletas y muchas se asemejan a explicaciones o modelos científicos que tuvieron vigencia en otra época. Son construcciones personales, pero a la vez son universales y suelen ser muy resistentes al cambio; muchas veces persisten a pesar de largos años de instrucción escolarizada.

Si bien algunos autores consideran que pueden existir ideas previas relativamente aisladas (Mortimer, 1995), numerosos investigadores piensan que no son aisladas, sino que implican la formación de una red conceptual (o red semántica) o esquema de pensamiento más o menos coherente, pero diferente del esquema conceptual científico vigente. Algunos autores las llaman “teorías” (Vosniadou, 1994); pero, por supuesto, reconocen que, a pesar de tener elementos y una estructura, no reúnen las características de las teorías científicas propiamente dichas y presentan contradicciones internas e incoherencias.

El conjunto de ideas previas o esquema de pensamiento alternativo se conoce entre los investigadores educativos como esquema representacional. Si los estudiantes encuentran información que contradiga sus esquemas representacionales (Mulford y Robinson, 2002) es difícil para ellos aceptarla, porque les parece errónea. En estas condiciones actúan de diversas maneras: la ignoran, la rechazan, no creen en ella, la reinterpretan a la luz de sus propios esquemas

representacionales; o bien, llegan a aceptarla haciendo sólo pequeños cambios en sus concepciones. Es ocasional que la información que parece anómala sea aceptada y obligue al estudiante a revisar su esquema representacional. Así pues, los esquemas representacionales de los estudiantes limitan y orientan el aprendizaje de la ciencia.

Por otro lado, no es raro que estos esquemas se vean reflejados también en libros de texto, materiales didácticos e información electrónica, lo que indica que no sólo los estudiantes presentan estas ideas sino también muchos docentes.

Por ello, es muy importante conocer los esquemas representacionales de los estudiantes y reflexionar sobre la importancia que tienen dichos esquemas en la enseñanza y el aprendizaje de la ciencia. Los investigadores de la educación han coincidido en la necesidad de transformarlos en conceptos más cercanos a las concepciones científicas.

A partir de los años 80, el tránsito desde las ideas previas hasta las concepciones científicas se conoce entre los investigadores como cambio conceptual. Hoy se cuenta con numerosos modelos de cambio conceptual (Bello, 2004), que abarcan desde las posiciones más radicales (Posner *et al.*, 1982) —que proponen la sustitución total de las ideas previas por los conceptos científicos—¹ hasta propuestas que aceptan la modificación gradual y parcial de las ideas de los alumnos, y consideran la coexistencia dual o múltiple de concepciones en el estudiante (Strike y Posner, 1985; Mortimer, 1995; Vosniadou, 1994; Caravita y Halldén, 1995; Taber, 2000, 2001), cuyo uso estará orientado por el contexto social y se verá fuertemente determinado por aspectos afectivos.

Resulta muy importante indagar los esquemas representacionales de los estudiantes en torno al enlace químico porque no sólo limitan el aprendizaje sino determinan la concepción global de la química que debe tener todo profesionalista de esta disciplina.

En la actualidad, numerosos docentes consideran al cambio conceptual como sinónimo de aprendizaje de la ciencia. Muchos autores (Mortimer, 1995; Campanario, 1999; Leach & Scott, 2003; Rodríguez Moneo, 2003; Kind, 2004) asumen que la influencia del docente en la transformación de las ideas previas de los educandos es determinante. No obstante, otros investigadores dejan la sensación de que la intervención escolar en el cambio conceptual es muy reducida (diSessa, 1998).

De todas maneras, los diversos autores reconocen que el cambio conceptual es un proceso difícil, no lineal, de larga duración, con avances, titubeos, incertidumbres y retrocesos, por parte del estudiante. En opinión de Mortimer el cambio conceptual profundo, que implica la sustitución

¹ La denominación más común que se utilizaba para las ideas previas en 1982, era la de preconcepciones (*misconceptions*), y se las consideraba siempre erróneas. De allí la propuesta de Posner *et al.* de erradicarlas.

radical de las ideas del estudiante por las concepciones científicas, es una meta que difícilmente se alcanza en el aula, en un periodo lectivo. Él piensa que es más realista buscar que el alumno modifique parcialmente sus concepciones, al incorporar a su bagaje los esquemas de pensamiento científico. Por ello, Mortimer prefiere hablar de un cambio de perfil conceptual (*op. cit.*, 1995).

Eduardo Mortimer basa su modelo de perfil conceptual en el de perfil epistemológico de Bachelard (1968). En la *Filosofía del no*, Bachelard explica con detalle diferentes formas de interpretar la realidad, en términos de conceptos científicos. Bachelard ilustró esta noción con el concepto de masa. Se distinguen cuatro zonas en el perfil epistemológico de este concepto. La zona más elemental es la “realista”, que se elabora a partir de la percepción, concretamente de la vista. La segunda es la “empirista”, corresponde a una determinación precisa y objetiva de la masa, dada por el uso de balanzas. Llama “racional clásica” a la tercera zona del concepto de masa y, siguiendo a Newton, define la masa como una relación entre la fuerza y la aceleración. La cuarta zona es todavía más abstracta, ya que se refiere al concepto de masa en el ámbito de la relatividad y se convierte en una noción compleja, la racional moderna.

Puede notarse que Mortimer (Ribeiro y Mortimer, 2004), al construir su noción de perfil conceptual, ha tomado en cuenta la historia y filosofía de la ciencia y los resultados de la investigación educativa (Bello, 2006). El perfil conceptual es un modelo para describir la evolución de las ideas, tanto en el espacio social del aula como en el individual, como consecuencia del proceso de enseñanza-aprendizaje. Este perfil está constituido por diferentes zonas con jerarquías distintas y cada zona se caracteriza por comprender categorías con mayor poder explicativo que sus antecesoras.

La experiencia de la autora de este trabajo la lleva a adherirse a la propuesta de Eduardo Mortimer ya que, tanto en la historia de la ciencia, como en el trabajo con los estudiantes, ha visto que es posible usar diferentes formas de pensar en dominios diversos; que un nuevo concepto no necesariamente reemplaza a las ideas previas o alternativas, sino puede ser complementario a ellas.

Asimismo, varios docentes en la Facultad de Química piensan que en la medida en que se conozcan los esquemas representacionales de los estudiantes, relacionados con el enlace químico, se podrán diseñar estrategias de enseñanza idóneas para promover el cambio conceptual o, al menos, un cambio en el perfil conceptual de los educandos. Al mismo tiempo, están convencidos de que si se modifica el perfil conceptual en los esquemas representacionales de los estudiantes, respecto al enlace químico, se abatirá el rezago escolar en asignaturas críticas, en la Facultad. Por ello, en busca de la definición de los mencionados esquemas se emprendió un proyecto de investigación en alumnos de este centro educativo. El presente trabajo es una parte del mencionado proyecto; para esta etapa se plantearon los siguientes

Objetivos

- Conocer ideas previas que mantienen alumnos de química sobre el enlace químico, a lo largo de su carrera.
- Conocer la evolución o persistencia de las ideas previas conforme avanzan los alumnos en su plan de estudios.
- Indagar qué hay detrás de las ideas previas de los estudiantes de química, con miras a definir los esquemas representacionales más relevantes en torno al enlace químico.

Metodología

Se elaboró una prueba diagnóstica (Apéndice A (García, 2004)), tomando como referencia ideas previas reportadas en una página electrónica (Flores *et al.*, 2002) y en conceptos encontrados en libros de texto usados en diversos cursos en la Facultad de Química de la UNAM. Esta prueba consta de dos partes. La parte 1 comprende reactivos de respuesta breve y de múltiple opción, mientras que la 2 está constituida por reactivos de falso y verdadero.

Se seleccionó una muestra aleatoria de estudiantes que cursaban diferentes asignaturas seriadadas: química general, de primer semestre, química inorgánica,² de tercer semestre y química covalente de quinto semestre. Para ello se escogieron dos grupos de química general (120 alumnos), dos de inorgánica (100 estudiantes) y uno de covalente (30 educandos).

Se realizó una aplicación piloto del instrumento para el diagnóstico a un grupo de alumnos de química inorgánica y se hicieron algunos cambios en la redacción de los reactivos.

Se aplicó la prueba dos veces en cada grupo, una antes y la otra después de ver el tema durante cada curso. En conjunto, los grupos se identifican de la siguiente manera: A_1 , alumnos de química general, B_1 estudiantes de química inorgánica y C_1 de química covalente, antes de ver el tema en el curso. Mientras que A_2 , B_2 , y C_2 son alumnos de las mismas asignaturas, después de que han visto el tema en clase.

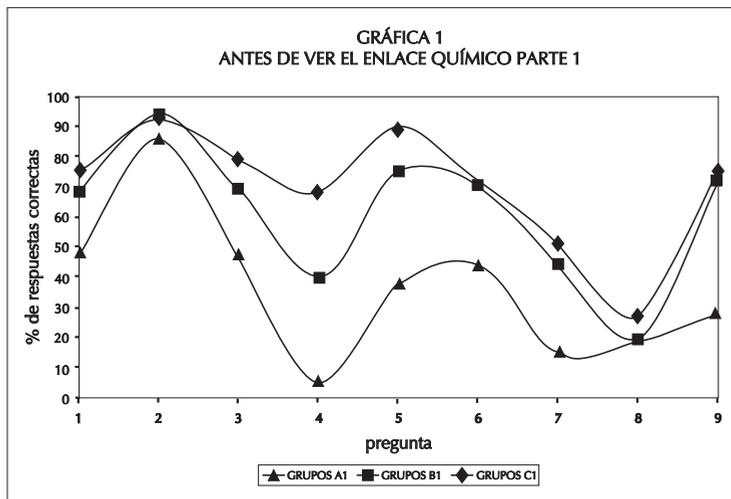
² Química general y química inorgánica son asignaturas obligatorias comprendidas en todos los planes de estudio que ofrece la Facultad de Química; por ende, las cursan todos los alumnos de esta Facultad. En cambio, química covalente es una asignatura obligatoria que sólo se encuentra en la carrera de química y son pocos los alumnos que la cursan.

Se analizaron las respuestas de la prueba diagnóstica (gráficas 1-4) y se realizó un análisis de frecuencia de las mismas, observándose qué cambia y qué permanece en nuestros estudiantes en el aprendizaje del enlace químico.

Para la interpretación de estas respuestas y frecuencias, se tomaron en cuenta otras investigaciones realizadas sobre el mismo problema (Barker, 2002; Flores, *et al.*, *op.cit.*); se identificaron algunos esquemas representacionales, confusiones entre modelos y carencias de los estudiantes, que se muestran en las tablas 1 y 2.

Resultados

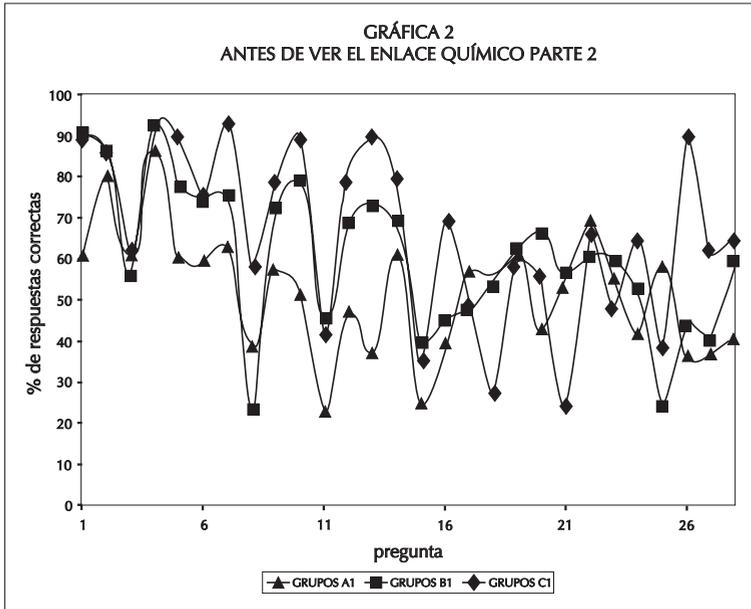
Las gráficas muestran que en muchos alumnos y en la mayor parte de las ideas previas analizadas se da el cambio conceptual, presumiblemente, como consecuencia de la intervención docente en los cursos curriculares (Leach y Scott, 2003). Esto se muestra claramente en la Gráfica 1, donde se observa que los alumnos de química general obtienen el menor porcentaje de respuestas correctas en la prueba diagnóstica; les siguen los alumnos de química inorgánica³ y, finalmente, los mejores resultados los obtienen los estudiantes de química covalente.⁴



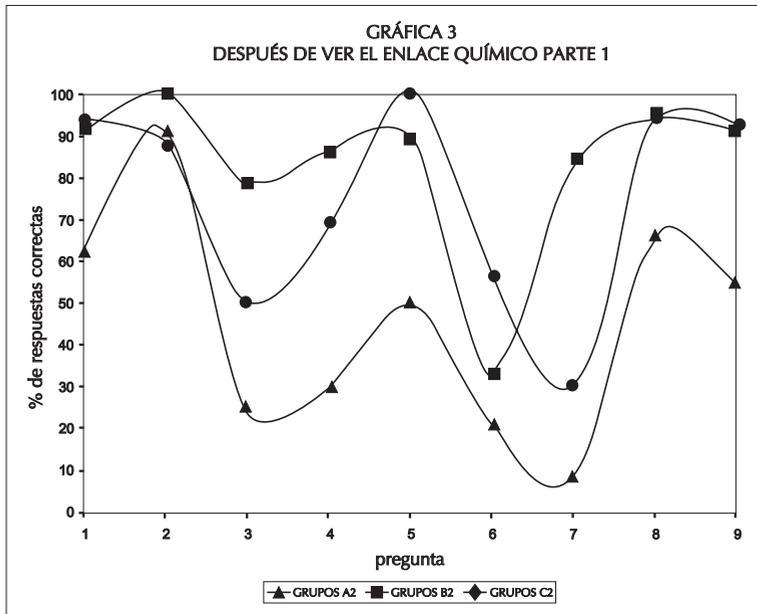
Gráfica 1. Ideas previas de los estudiantes antes de ver el enlace químico. Parte 1.

³ Para cursar química inorgánica los alumnos deben haber acreditado química general.

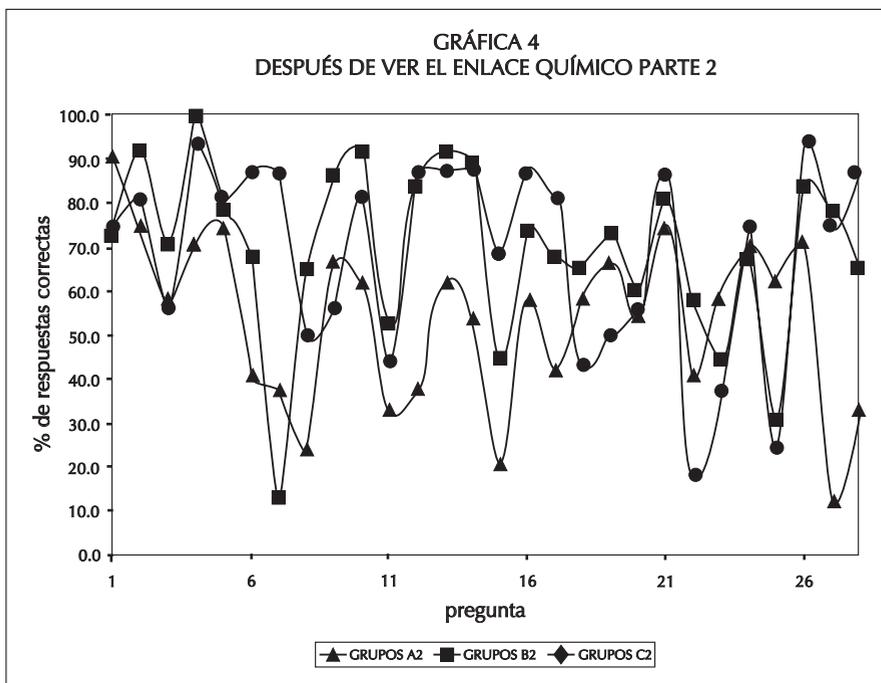
⁴ Para cursar química covalente los alumnos deben haber acreditado química inorgánica.



Gráfica 2. Ideas previas de los estudiantes antes de ver el enlace químico. Parte 2.



Gráfica 3. Ideas previas de los estudiantes después de ver el enlace químico. Parte 1.



Gráfica 4. Ideas previas de los estudiantes después de ver el enlace químico. Parte 2.

Sin embargo, existen ideas previas resistentes al cambio conceptual; es decir, permanecen en los estudiantes a pesar de los esfuerzos realizados por los docentes. En las gráficas 2, 3 y 4 puede notarse una competencia entre los tres grupos; en ocasiones los alumnos del 5° semestre (química covalente) obtienen resultados incluso inferiores a los de química general (Gráfica 2, reactivos 18 y 21 y Gráfica 4, reactivos 18, 19, 23 y 25).

Interpretación de resultados

Se ve que hay cierta evolución hacia el cambio conceptual; sin embargo, también hay persistencia de ideas previas dado que los alumnos de semestres posteriores deberían manifestar siempre un mejor dominio de los conceptos involucrados en el enlace químico. Kind (2004) propone que esto es más un conflicto entre modelos aprendidos que una competencia entre ideas previas y concepciones científicas.

Al comparar los resultados de esta investigación con otros datos publicados (Flores *et al.*, *op. cit.*, Kind, *op. cit.*, Taber, 2001) se observa cierta madurez en los estudiantes de la Facultad de Química, respecto a otros alumnos porque en sus respuestas han eliminado algunos términos primitivos o antropomórficos. No obstante se pueden identificar algunos esquemas representacionales, que persisten a pesar de la instrucción (tablas 1 y 2). Así, se ve que para los estudiantes no es claro el papel que juegan los electrones (y los orbitales) en la formación del enlace químico. Llama la atención que alumnos de este ciclo escolar sigan considerando que los átomos mantienen su identidad aun después de formar moléculas; lo que parece indicar que siguen sin distinguir las mezclas, los elementos y los compuestos.

| Pregunta | Frecuencia (%) | Esquema representacional, confusión o carencia |
|--|----------------|--|
| En un átomo los electrones giran alrededor del núcleo; ¿crees que dicho movimiento se ve afectado al momento de formar un enlace? | 21 | Cada átomo mantiene su identidad en el enlace |
| ¿Qué tipo de enlace presenta el F ₂ ? Explica tu respuesta. El HF es un compuesto iónico (P. ebullición 25.5°C). | 29 | El F sólo forma enlaces iónicos por su alta electronegatividad |
| 10 partículas de KCl constituyen: a) un grupo de moléculas formado por átomos b) Una sola molécula formada por átomos c) Una red formada por átomos d) Una red formada por iones 10 partículas de calcio constituyen: a) Una sola molécula formada por átomos b) sólo un átomo de calcio c) una red formada por cationes y electrones d) un grupo de moléculas formado por átomos | 29 | Todas las partículas (átomos, iones, moléculas) son iguales |
| ¿qué tipos de enlace químico conoces? Explica tu respuesta | 21 | Confusión entre las modalidades de enlace |

Tabla 1. Frecuencia de ideas previas que permanecen. Parte 1.

| Pregunta | Frecuencia (%) | Esquema representacional, confusión o carencia |
|---|----------------|---|
| La formación de un enlace dependerá de los electrones de valencia. Un enlace implica siempre un par de electrones entre dos átomos En la molécula F ₂ el enlace implica un par de electrones. Los pares de electrones no enlazantes influyen en la posición de los pares compartidos y determinan la polaridad de la molécula | 18 | Desconocen el papel de los electrones (y de los orbitales) en el enlace |
| En la formación de un enlace participan fuerzas electrostáticas y electromagnéticas La atracción entre dos iones sucede cuando estos tienen cargas diferentes, siendo una característica del enlace iónico. | 18 | Desconocen el papel de las fuerzas en el enlace |
| En una molécula formada por dos átomos con distintos valores de electronegatividad los electrones pasarán más tiempo en la nube electrónica del átomo con mayor valor de electronegatividad En un enlace se puede identificar a los electrones y asegurar a qué átomo pertenecen. | 6 | Los átomos enlazados conservan su identidad |
| En un átomo o ion que tiene su última capa llena es más fácil arrancar uno de los electrones | 18 | Desconocen la estabilidad relativa de las capas llenas |

Tabla 2. Frecuencia de ideas previas que permanecen. Parte 2.

Tampoco comprenden cómo intervienen las fuerzas electrostáticas y electromagnéticas; probablemente debido a que desconocen qué es una fuerza. Así, la comprensión del enlace iónico les resulta particularmente difícil.

Cabe destacar que el concepto de partícula⁵ es especialmente difícil y genera gran confusión en estudiantes de todos los semestres; debido —quizá— al uso indiscriminado de este término en libros de texto y entre docentes.

⁵Véanse preguntas 7 y 8 de la Parte 1, de la prueba diagnóstica.

| Pregunta | Frecuencia (%) | Esquema representacional, confusión o carencia |
|--|----------------|--|
| Si la geometría de una molécula es lineal, por lo tanto es simétrica, esto implica que el momento dipolar sea cero. | 6 | No hay relación entre la geometría molecular y el momento dipolar |
| Los compuestos covalentes no pueden formar sólidos cristalinos Hay una frontera que permite separar claramente los compuestos iónicos de los covalentes | 18 | Hay una frontera clara y contundente entre compuestos iónicos y covalentes |
| Si en una botella hubiera oxígeno, las moléculas de este gas estarían separadas entre sí a temperatura ambiente. | 6 | Ausencia de vacío |
| El HF es un compuesto iónico (p.f. 25.5°C) | 6 | No hay relación entre el modelo y la realidad |
| 10 partículas de N ₂ constituyen una red formada por átomos | 6 | Confusión entre átomo, molécula y cristal. (Concepto de partícula) |

Tabla 2. Frecuencia de ideas previas que permanecen. Parte 2 (continuación).

Llama la atención que, a pesar de la enorme importancia que conceden al modelo de Lewis para el enlace químico, hay desconocimiento de algunos conceptos básicos, como la estabilidad relativa de capas o subcapas llenas y semillenas.

El concepto de electronegatividad es muy apreciado entre nuestros estudiantes y tratan de usarlo para explicar numerosos fenómenos y propiedades. Sin embargo, su aplicación incorrecta los lleva a suponer que el enlace en el F₂ o en el HF es iónico.

La confusión entre modelo y realidad que se da en nuestros alumnos, los lleva a considerar que existe una frontera clara y contundente entre compuestos iónicos y covalentes y que, por ello, las propiedades de unos y otros son radicalmente diferentes.⁶

Todo ello nos lleva a pensar en la necesidad de que los profesores conozcan las ideas previas de sus estudiantes, las aborden explícitamente en clases teóricas y experimentales; seleccionen cuidadosamente los libros de texto y materiales didácticos para no reforzar ideas previas; se aseguren de que los educandos poseen los conocimientos que se requieren para entender el

⁶Véase pregunta 18 de la Parte 2 de la prueba diagnóstica.

enlace químico y se esfuerzan en conducir a sus grupos hacia el cambio conceptual o, al menos, hacia un cambio de perfil conceptual.

Asimismo, pone de manifiesto la necesidad de diseñar estrategias de enseñanza-aprendizaje basadas en los esquemas representacionales de nuestros pupilos, que no dejen de lado el importante aspecto de la motivación.

Conclusiones

En relación con el enlace químico, se identifican dos tipos de ideas previas de los estudiantes de la Facultad de Química, las que cambian notablemente y muchas concepciones que permanecen en su perfil conceptual, a pesar de varios semestres de instrucción.

Es necesario que los profesores sean conscientes de sus propias ideas previas, conozcan las de los estudiantes y las aborden explícitamente en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Es preciso continuar investigando los modelos mentales de los estudiantes relacionados con el enlace químico e indagar la relación que existe entre la motivación y la persistencia de los mismos.

Es indispensable considerar las ideas previas de los alumnos a fin de diseñar estrategias de enseñanza-aprendizaje, específicas para promover el cambio de perfil conceptual.

Referencias

- BACHELARD, G. (1968). *The Philosophy of No*, New York, The Orion Press. Traducido de *La philosophie du non* (1940), por G. C. Waterston.
- BARKER, V. (2002). "Beyond appearances. Students' misconceptions about basic chemical ideas", A report prepared for the Royal Society of Chemistry, London, UK.
- BELLO, G. S. (2004). "Ideas previas y cambio conceptual", *Educación Química*, 15(3), 210-217.
- y Valdez, S. (2003). Las ideas previas en la enseñanza y aprendizaje de la Química. Taller T-20 realizado en las III Jornadas Internacionales y VI Nacionales de Enseñanza Universitaria de la Química, La Plata, Argentina.
- (2006). "¿Cambio conceptual o cambio de perfil conceptual?", en Bello, G. S. (2006), (ed.), *Cambio conceptual. ¿Una o varias teorías?*, Reseñas del Seminario sobre Cambio Conceptual, México, Facultad de Química-UNAM (en prensa).
- CAMPANARIO, J. M. y Moya, A. (1999). "¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas", *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 179-192.
- CARAVITA, S. y Halldén, O. (1994). "Reframing the problem of conceptual change", *Learning and instruction*, 4, 89-111.
- DISESSA, A. y Sherin, B. (1998). "What changes in conceptual change?", *International Journal of Science Education*, 20(10), 1155-1191.

- FLORES *et al.* (2002). <http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx:2048> Última consulta 18 de mayo de 2006.
- GARCÍA, C. A. (2004). "El curso de las ideas previas en el aprendizaje del enlace químico a nivel licenciatura", tesis de licenciatura, México, Facultad de Química-UNAM.
- KIND, V. (2004). *Más allá de las apariencias. Ideas previas de los estudiantes sobre conceptos básicos de Química*, México, Santillana/Facultad de Química-UNAM.
- LEACH, J. y Scott, P. (2003). "Individual and sociocultural views of learning in science education", *Science and Education*, 12, 91-113.
- MORTIMER, E. (1995). "Conceptual change or conceptual profile change?", *Science and Education*, 4, 267-285.
- MULFORD, D.R. & Robinson, W.R. (2002). "An inventory for alternate conceptions among first semester General Chemistry students", *Journal of Chemical Education*, 79(6), 739-744.
- POSNER, G. J., Strike, K. A. Hewson, P.W. & Gertzog, W.A. (1982). "Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change", *Science Education*, 66, 211-227.
- RIBEIRO, A. E. M. y Mortimer, E. F. (2004). "Un perfil conceptual para entropía y espontaneidad: una caracterización de las formas de pensar y hablar en el aula de Química", *Educación Química*, 15(3), 218-233.
- RODRÍGUEZ-Moneo, M. (2003). *Conocimiento previo y cambio conceptual*, Buenos Aires/Madrid, AIQUE.
- STRIKE, K. y Posner, G. (1985). "A conceptual change view of learning and understanding", en L. West y L. Pines (eds.), *Cognitive structure and conceptual change*, Academic Press, 211-231.
- TABER, K. S. (2000), "Multiple frameworks?: Evidence of manifold conceptions in individual cognitive structure", *International Journal of Science Education*, 22 (4), 399-417.
- (2001). "Shifting sands: a case study of conceptual development as competition between alternative conceptions", *International Journal of Science Education*, 23 (7), 731-753.
- VOSNIADOU, S. (1994), "Capturing and modeling the process of conceptual change", *Learning and instruction*, 4, 45-69.

Apéndice A

Prueba diagnóstica sobre enlace químico. Cuestionario

1. ¿El enlace químico es un modelo o una realidad? Explica tu respuesta.
2. ¿Qué tipos de enlaces químicos conoces? Explica tu respuesta.
3. En un átomo los electrones están girando alrededor del núcleo, ¿crees que dicho movimiento se verá afectado al momento de formar un enlace? Explica tu respuesta.
4. El enlace C-F es polar, pero en el tetrafluoruro de carbono la disposición de los cuatro enlaces da un resultado de una molécula con momento dipolar cero. Explica a qué se debe.

Escoge la opción correcta para contestar cada una de las siguientes preguntas.

5. ¿Qué tipo de enlace presenta el F_2 ? Explica tu respuesta.
 - a) Iónico
 - b) Covalente
 - c) Covalente polar
6. 10 partículas de KCl constituyen:
 - a) un grupo de moléculas formado por átomos.
 - b) una sola molécula formada por átomos.
 - c) una red formada por átomos.
 - d) una red formada por iones.

Explica tu respuesta.

7. 10 partículas de calcio constituyen:
 - a) una sola molécula formada por átomos.
 - b) representan sólo un átomo de calcio.
 - c) una red formada por cationes y electrones.
 - d) un grupo de moléculas formado por átomos.

Explica tu respuesta.

8. Responde cada uno de los siguientes incisos. ¿Qué tipo de enlace presenta cada uno de los siguientes compuestos
 - a) NaCl
 - b) $POCl_3$
 - c) C_3H_6O (acetona)

Explica tu respuesta.

9. A continuación se describen las características de dos compuesto A y B; ¿qué tipo de enlace químico explica mejor cada ejemplo?

Compuesto A _____

Compuesto B _____

| Propiedad | Característica | Característica |
|-------------------------|----------------|------------------|
| Aspecto | Sólido blanco | Líquido incoloro |
| P. Fusión °C | 801 | -23 |
| Densidad g/cc | 2.17 | 1.59 |
| Sol. en agua | Alta | Muy baja |
| Punto de ebullición °C | 1413 | 76.5 |
| Conductividad eléctrica | Sí conduce | No conduce |

Explica tu respuesta.

Lee cuidadosamente cada una de las siguientes oraciones; se refieren a propiedades o características de varios tipos de enlaces químicos. Escribe V, si es verdadera, o F si es falsa.

1. ___ La formación de un enlace dependerá de los electrones de valencia.
2. ___ En la formación de un enlace participan fuerzas electrostáticas y electromagnéticas.
3. ___ Un enlace implica siempre un par de electrones entre dos átomos.
4. ___ La atracción entre dos iones sucede cuando éstos tienen cargas diferentes, siendo una característica del enlace iónico.
5. ___ En la molécula de F_2 el enlace implica un par de electrones.
6. ___ En un enlace, se puede identificar a los electrones y asegurar a qué átomo pertenecen.
7. ___ En un átomo o ion que tiene su última capa de valencia completa es más fácil arrancar uno de los electrones.
8. ___ Si la geometría de una molécula es lineal, por lo tanto es simétrica, esto implica que el momento dipolar será cero.
9. ___ Los pares de electrones no enlazantes influyen en la posición de los pares compartidos y determinan la polaridad de la molécula.
10. ___ La forma estructural de una molécula es el resultado de todas las repulsiones de los pares de electrones libres y enlazantes.

11. ___ Los puentes de hidrógeno son enlaces químicos y no solamente fuerzas.
12. ___ Las moléculas de un gas se unen mediante fuerzas de van der Waals.
13. ___ En las interacciones de van der Waals los electrones no abandonan el núcleo simplemente tiene lugar una pequeña deformación.
14. ___ La polarización de un átomo se refiere a la deformación de la nube electrónica.
15. ___ En una molécula formada por dos átomos con distintos valores de electronegatividad, los electrones pasaran más tiempo en la nube electrónica del átomo con mayor valor de electronegatividad.
16. ___ En un enlace covalente cada uno de los átomos dona un par de electrones para la formación del enlace.
17. ___ En un cristal de NaCl los iones sodio están rodeados de seis iones cloruro.
18. ___ Los compuestos covalentes no pueden formar sólidos cristalinos
19. ___ Los compuestos gaseosos a temperatura ambiente son covalentes.
20. ___ Si en una botella hubiera oxígeno, las moléculas de este gas estarían separadas entre sí a temperatura ambiente.
21. ___ El HF es un compuesto iónico (p. ebullición 25.5°C).
22. ___ Un compuesto con punto de ebullición alto, se disuelve en agua y conduce la corriente seguramente será iónico.
23. ___ Si un compuesto no se disuelve en agua, no conduce la corriente eléctrica, entonces es covalente.
24. ___ Un enlace covalente polar es el tipo de enlace químico que tiene mayor carácter iónico que covalente.
25. ___ En el enlace covalente no polar es necesario que los átomos tengan electronegatividades con valores iguales o al menos parecidos.
26. ___ La longitud del enlace químico disminuye al incrementarse la separación entre las cargas.
27. ___ La diferencia en punto de fusión de las sustancias se debe al enlace entre los átomos.
28. ___ Hay una frontera que permite separar claramente los compuestos iónicos de los covalentes.
29. ___ 10 partículas de N₂ constituyen una red formada por átomos.

¡Gracias por tu colaboración!

Buscando coherencia en la estructura básica de la química. Una propuesta pedagógica¹

Plinio Sosa Fernández

Introducción

La química es una disciplina difícil de enseñar y de aprender. En parte por razones comunes a todas las ciencias (alto grado de abstracción de las explicaciones científicas, ideas alternativas no científicas existentes en la mente de los aprendices, técnicas de enseñanza ajenas a los procesos de aprendizaje, conocimientos sin el adecuado contenido pedagógico, etc.). Pero en parte también por culpas sólo atribuibles a la química misma. Es posible encontrar en la estructura de esta disciplina definiciones que no definen, verdades poco representativas, ideas contradictorias o, incluso, francamente absurdas. En este sentido, W. B. Jensen (1998), en tres publicaciones consecutivas, ha presentado un elegante cuestionamiento sobre si de verdad la química tiene una estructura lógica. Por otro lado, en los últimos años se ha realizado una investigación muy seria e intensa acerca de los errores conceptuales de los alumnos en el área de la química (Carbonell, 1987, Andersson, 1990, Garnett, 1995, Furió, 2000, Kind, 2004). Muchos de ellos están ligados precisamente a los conceptos primarios o base (a partir de los cuales se genera toda la disciplina): materia, compuestos, elementos, mezclas, cambio químico, átomos y moléculas.

En este trabajo se discute brevemente la presentación tradicional de los conceptos base como posible fuente de errores conceptuales y, además, se propone una presentación alternativa —construida desde un punto de vista pedagógico— basada en nuevas definiciones que le den coherencia y funcionalidad a los cimientos de la química.

Desarrollo del tema

La presentación tradicional de los conceptos base (Chang, 1992 y Spencer, 2000) se desarrolla a partir de ligeras variantes del siguiente discurso:

¹Este trabajo fue presentado en el VII Congreso Internacional sobre la Investigación en la Didáctica de las Ciencias en Granada, España el 9 de septiembre de 2005.

- Química es la ciencia que estudia la materia, la energía y sus cambios.
- La materia es de lo que está hecho todo lo que hay en el universo.
- La materia se clasifica en mezclas y sustancias puras.
- Las sustancias puras se dividen en compuestos y elementos.
- Las mezclas se pueden separar físicamente en sustancias puras.
- Los compuestos se pueden separar químicamente en elementos.
- Toda la materia está formada por átomos de diferentes clases, combinados de diversas maneras.
- Los átomos son las unidades más pequeñas de una sustancia.

Buena parte de las dificultades que genera esta presentación son de tipo semántico (De Jaime, 1987). A continuación se discute con detalle esta problemática.

La definición de química es cierta pero imprecisa. La química no estudia el movimiento de una pelota, ni la colisión entre dos placas tectónicas, ni la migración de las mariposas monarca. Una buena definición tendría que señalar claramente los límites de la química: qué sí estudia y qué no. Qué es química y qué no. Si definir implica precisar los límites, la definición tradicional de la química es mala en el sentido de que realmente no define.

En realidad, la química no abarca tanto. Con lo único que está relacionada es con aquellos procesos en los que se forman unas sustancias a partir de otras.

Las definiciones en términos de materia no son aptas para novatos. Habría que partir de lo que ve la gente: objetos, cuerpos y seres hechos de una diversidad enorme de materiales y sustancias. La expresión “la materia” (así en singular y con el artículo determinado) induce a pensar que todo está hecho de una misma “pasta” y que todas las sustancias y materiales que conocemos o que sabemos que existen no son más que diferentes presentaciones de esa única “pasta” llamada materia. Cuando los alumnos intentan explicar un proceso químico sin hacer alusión a la formación de nuevas sustancias probablemente están pensando en que la materia (la única que hay) se conserva. En los procesos químicos, la masa se conserva pero las sustancias no.

No puede haber una categoría que se llame mezclas. Si así fuera, habría seis categorías de vertebrados: los peces puros, los anfibios puros, los reptiles puros, las aves puras, los mamíferos puros y las mezclas. La química es la única disciplina que yo conozca en la que existe una categoría de mezclas. Se entiende que la expresión ‘sustancia pura’ pretende hacer énfasis en que se trata de una sola sustancia. Lo malo es que, por lógica, tendrían que existir las sustancias impuras lo cual es

un absurdo. Desde el punto de vista pedagógico, lo único que hay que aclarar al estudiante es que existen algunos materiales (como el acero) que constan de más de una sustancia.

Si los compuestos se pueden separar químicamente en elementos, dado que tanto los compuestos como los elementos son sustancias puras, entonces querría decir que hay sustancias puras (los compuestos) constituidas por otras sustancias puras (los elementos). Justo lo contrario de lo que se quería enseñar. Entonces, ¿qué significa sustancia pura? ¿Y cuál es la diferencia entre mezcla y compuesto?

La frase correcta debería ser algo así: una sustancia compuesta, sometida a ciertas condiciones pero sin entrar en contacto con ninguna otra sustancia, reacciona para formar otras sustancias más simples llamadas sustancias elementales.

¿Qué puede entender un joven con las definiciones tradicionales? Todos los maestros sabemos que los alumnos confunden los conceptos de compuesto, elemento y mezcla. Pero ¿cómo podría ser de otro modo si nuestras definiciones son precisamente las que inducen esta confusión?

Toda la materia está formada por átomos de diferentes clases, combinados de diversas maneras. No es exactamente así. Sería como decir que la fauna artrópoda está formada por miembros (patas, alas, antenas, etc.) combinados de diversas maneras. Una ligereza de este tipo induciría enormes errores conceptuales. Primero, haría suponer que los miembros existen y son estables separados de los cuerpos. Segundo, haría pensar que las unidades de cada tipo de invertebrado son los miembros solitos. Tercero, haría creer que los cuerpos de los invertebrados no son entidades íntegras sino un conglomerado de miembros combinados de diversas maneras.

Los átomos son las unidades más pequeñas de una sustancia. No es cierto. En algunas sustancias las unidades más pequeñas son los átomos, ya sea aislados (como en los gases nobles) o formando enormes entramados (como en los metales y en los sólidos covalentes). Pero en muchas otras, las unidades más pequeñas son moléculas o iones. Es decir, no hay un solo tipo de partículas químicas sino tres: iones, moléculas y átomos. Acostumbramos representar estas partículas en términos de los fragmentos que las integran. Para referirnos a estos fragmentos también se usa la palabra elemento. Es decir, los químicos usamos la misma palabra para referirnos a dos conceptos muy diferentes: los fragmentos que integran a las partículas químicas y aquellas sustancias cuyas partículas están constituidas por fragmentos del mismo tipo. Se podría dejar el nombre de sustancias elementales a éstas y el de elementos a aquellos.

La presentación debería de ser así (Caamaño, 1998, Sosa, 1999, 2004): Los materiales son las sustancias y combinaciones de sustancias de que están hechos los objetos, cuerpos y seres que

hay en el universo. Los materiales que constan de varias sustancias se denominan mezclas. Cada sustancia posee características propias que la distinguen de las demás. Las sustancias consisten de partículas químicas inimaginablemente pequeñas: iones, moléculas y átomos (Figura 1). Se acostumbra representarlas mediante una serie de fragmentos conectados entre sí llamados elementos. Una sustancia elemental es aquella cuyas partículas están formadas por puros fragmentos iguales, es decir, por un solo elemento. Una sustancia compuesta es aquella cuyas partículas están formadas por fragmentos diferentes, es decir, por varios elementos. La composición química de una mezcla indica cuántas sustancias y en qué porcentaje la constituyen. En cambio, la composición química de una sustancia indica cuáles y cuántos elementos integran a sus partículas. A continuación se presenta un glosario en el que se desarrollan todos los conceptos involucrados.

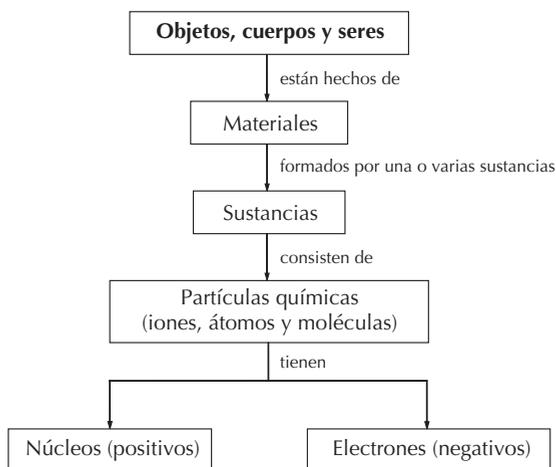


Figura 1. Esquema alternativo para presentar los conceptos básicos de la química.

Glosario

- **Química.** Es la ciencia que estudia todo lo relacionado con los procesos en los que se forman unas sustancias a partir de otras. La única manera de saber si un determinado proceso es químico es identificando las sustancias antes y después de que ocurra. Para ello se requiere de personal y equipo especializados. En los procesos químicos, no se conservan las sustancias pero sí se conserva la masa. La Figura 2 muestra un diagrama de flujo que sirve para saber si un determinado proceso es químico o no.

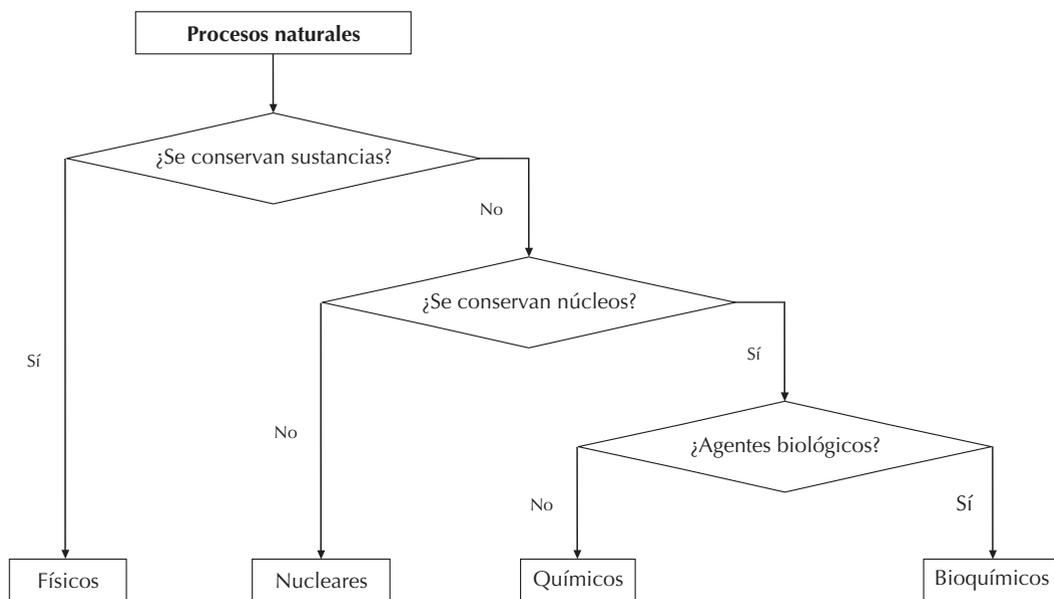


Figura 2. Diagrama de flujo que sirve para clasificar los procesos naturales.

- **Materia.** Es la palabra genérica que usamos para referirnos a todo lo que ocupa un lugar en el espacio. En condiciones moderadas de presión y temperatura (como las que imperan en las inmediaciones de nuestro planeta), se manifiesta en forma de sustancias.
- **Materiales.** Son todas las sustancias y mezclas de sustancias de que están hechos los objetos, los seres y los cuerpos. Un determinado material puede estar constituido por una o varias sustancias.
- **Mezcla.** En química, se refiere a un material constituido por dos o más sustancias. La composición química de una mezcla indica cuáles sustancias la constituyen y en qué proporción.
- **Mezcla heterogénea.** Es un material de aspecto heterogéneo constituido por varias sustancias. Heterogéneo significa que, a simple vista, se distinguen dos o más sustancias.
- **Mezcla homogénea.** Es un material de aspecto homogéneo constituido por varias sustancias. Homogéneo significa que no se distingue a simple vista que esté formada por dos o más sustancias.

- *Sustancias*. Son los diferentes tipos de materia que pueden existir. Son materiales de aspecto homogéneo de un solo constituyente. Cada sustancia posee características propias que la distinguen de las demás. Consisten de unas pequeñas partículas llamadas iones, moléculas o átomos. Se tienen registradas más de 28 millones de sustancias.² En la Figura 3, se muestra una clasificación de los distintos tipos de materiales.

| | | | |
|------------------------------|--------------------|----------------------|----------------------------|
| Un constituyente | | | |
| Aspecto homogéneo | Sustancias | | Aspecto heterogéneo |
| | Mezclas homogéneas | Mezclas heterogéneas | |
| Varios constituyentes | | | |

Figura 3. Clasificación de materiales.

Por otro lado, en la Figura 4 se muestra un diagrama de flujo con los criterios a considerar para clasificar un determinado material.

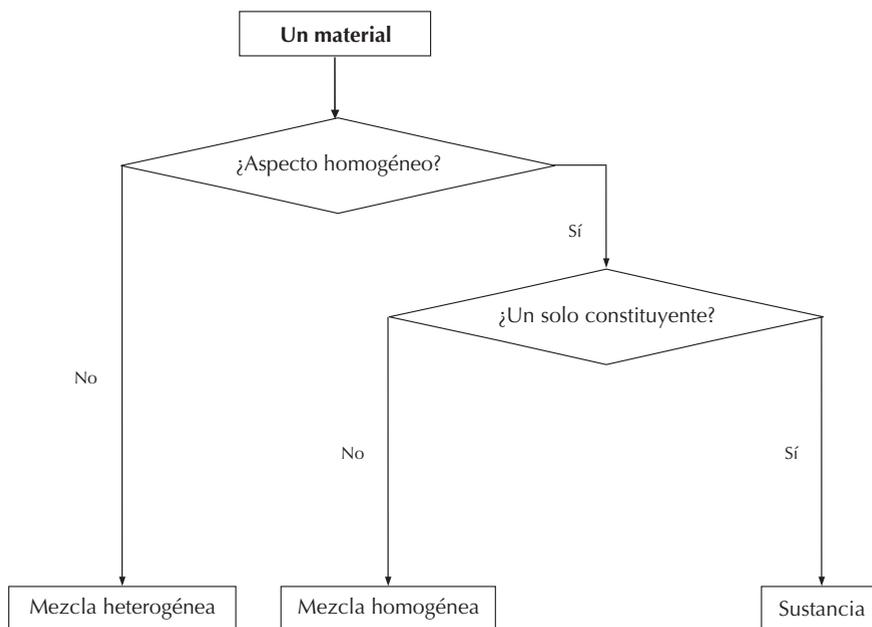


Figura 4. Criterios para clasificar un material.

²<http://www.cas.org/cgi-bin/regreport.pl>

- *Partículas químicas.* Son las pequeñas unidades que integran una sustancia. Son muy pequeñas y muy ligeras. Tanto que en unos cuantos gramos de cualquier sustancia hay del orden de un cuatrillón de partículas. Están constituidas por un cierto número de núcleos (con carga eléctrica positiva) interactuando con un cierto número de electrones (con carga eléctrica negativa). Pueden ser iones (partículas cargadas mono o polinucleares), moléculas (partículas polinucleares neutras) o átomos (partículas mononucleares neutras). La relación que hay entre sustancia y partícula es similar a la que hay entre manada y búfalo. Es decir, sustancia se refiere al conjunto, mientras que partícula se refiere a un solo individuo. En la Figura 5, se puede apreciar cómo se clasifican las partículas químicas.

| | | | |
|----------------------|-----------|-------|-----------------|
| Mononucleares | | | |
| Neutras | Átomos | Iones | Cargadas |
| | Moléculas | | |
| Polinucleares | | | |

Figura 5. Clasificación de las partículas químicas.

- *Núcleos.* Son la parte positiva de las partículas químicas. Concentran la mayor parte de la masa de las partículas que constituyen. Están formados por protones (con carga positiva) y neutrones (sin carga).
- *Electrones.* Son la parte negativa de las partículas químicas. No se puede saber cómo se mueven, ni su forma, ni su tamaño, ni su localización precisa. Se distribuyen por capas alrededor de los núcleos. Ocupan regiones inmensamente grandes (comparadas con el tamaño de los núcleos) llamadas dominios electrónicos.
- *Representaciones de Lewis.* Se acostumbra representar a las partículas mediante una serie de fragmentos mononucleares conectados entre sí llamados elementos. En este tipo de representación (Figura 6), las letras representan a los distintos núcleos y sus electrones internos; cada raya representa a dos electrones interactuando eléctricamente con dos núcleos; y cada punto a un electrón interactuando con un solo núcleo.
- *Elementos.* Se refiere a los fragmentos mononucleares neutros que integran a las partículas (fragmentos que contienen un solo núcleo y sus respectivos electrones). Cada elemento se

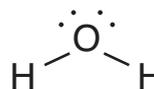


Figura 6.
Representación
de Lewis de una
molécula de agua.

identifica por el número de protones que hay en su núcleo. Se conocen más de 100 elementos distintos. A cada uno se le ha dado un nombre y un símbolo químico (una abreviatura de una o dos letras) y se acostumbra agruparlos en la llamada Tabla Periódica de los Elementos. No son estables en forma aislada (excepto en el caso de los gases nobles). Sólo se estabilizan como parte de moléculas o de redes (metálicas, iónicas o covalentes).

- *Composición química.* Puede ser la composición sustancial de una mezcla o la composición elemental de una sustancia.
- *Composición sustancial de una mezcla.* Indica cuáles sustancias y en qué proporción la constituyen. Por ejemplo, el acero contiene 98% de hierro y 2% carbono.
- *Composición elemental de una sustancia.* Indica cuáles elementos y en qué proporción están presentes en su estructura. Por ejemplo, la composición del agua es H_2O . Quiere decir que en el agua hay dos fragmentos de hidrógeno por cada fragmento de oxígeno.
- *Sustancias compuestas.* Son aquellas que en su estructura contienen fragmentos de distinto tipo, es decir, que consisten de distintos elementos. Una sustancia compuesta, sometida a ciertas condiciones pero sin entrar en contacto con ninguna otra sustancia, reacciona para formar otras sustancias más simples llamadas sustancias elementales. Algunos ejemplos de sustancias compuestas son: agua (H_2O), bicarbonato de sodio, ($NaHCO_3$), benceno (C_6H_6), etanol (C_2H_6O), etc.
- *Sustancias elementales.* Son aquellas sustancias cuya estructura consta de fragmentos del mismo tipo, es decir, consisten de un solo elemento (un solo fragmento o el mismo repetido varias veces). Por ejemplo: Neón (Ne), oxígeno (O_2), fósforo (P_4), azufre (S_8), sodio (Na_n), carbono (C_n), etc. Sin hacerla reaccionar con alguna otra sustancia, es imposible obtener otras sustancias elementales, a partir de una sustancia elemental. Es decir, son las sustancias más simples posibles. Prácticamente no existen en la naturaleza. El hombre las ha obtenido a partir de la descomposición de las sustancias compuestas.

Conclusiones

La presentación que se propone en este trabajo va de:

- lo familiar a lo poco conocido (de objetos y seres a núcleos y electrones).
- lo concreto a lo abstracto (de materiales y sustancias a la representación de las partículas en términos de fragmentos mononucleares).
- lo sensorial a lo invisible (de objetos y materiales a iones, moléculas y átomos).

Para que haya coherencia entre los conceptos y no contradicciones ni absurdos se:

- define la química en función de la obtención de nuevas sustancias.
- destaca la no conservación de las sustancias en los procesos químicos.
- introduce el concepto de materiales.
- transfiere el énfasis de “la materia” a “los materiales y las sustancias”.
- define mezcla como un material constituido por varias sustancias.
- les da el mismo estatus a las sustancias compuestas y a las elementales (el de sustancias) nombrándolas con el sustantivo sustancia y con los adjetivos correspondientes.
- dan denominaciones distintas a los conceptos sustancia elemental y elemento.
- define elemento como un fragmento en las partículas.
- presenta el concepto elemento dentro del modelo de representación de las partículas químicas escogido por los químicos: el de las estructuras de Lewis.
- distingue la composición (sustancial) de las mezclas de la composición (elemental) de las sustancias.
- definen las sustancias compuestas y las sustancias elementales en función de su composición elemental.
- les da el mismo estatus a iones, moléculas y átomos: el de partículas químicas.
- destaca la naturaleza eléctrica de las partículas químicas y su descripción en términos de la interacción entre sus partes cargadas eléctricamente.

Referencias

- ANDERSSON, B. (1990). “Pupils’ conceptions of matter and its transformations”, *Studies in Science Education*, vol. 18, 53-85.
- CAAMAÑO, A. (1998). “Materia y materiales en la enseñanza secundaria”, *Aula de innovación Educativa*, vol. 6, 6-12.
- CARBONELL, F., Furió, C. J. (1987). “Opiniones de los adolescentes respecto del cambio sustancial en las reacciones químicas”, *Enseñanza de las Ciencias*, 198-200.
- CHANG, R. (1992). *Química*, México, McGraw-Hill Interamericana de México.
- DE JAIME, M. C., Llopis, R., Llorens, J.A. (1987). “Lenguaje y adquisición de conceptos químicos. Un punto de vista semántico”, *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, 239-240.
- FURIÓ, C., Furió, C. (2000). “Dificultades conceptuales y epistemológicas en el aprendizaje de los procesos químicos”, *Educación Química*, vol. 11 (3) 300-308.
- GARNETT, P. J., Garnett, P. J., Hackling, M. W. (1995). “Students’ alternative conceptions in chemistry: a review of research and implications for teaching and learning”, *Studies in Science Education*, vol. 25, 69-95.

- JENSEN, W. B. (1998). "Does Chemistry Have a Logical Structure?", *Journal of Chemical Education*, (6), 679-687; "Can We Unmuddle the Chemistry Textbook?" (7) 817-828; "One Chemical Revolution or Three?" (8) 961-969.
- KIND, V. (2004). Más allá de las apariencias. Ideas previas sobre conceptos básicos de química, México, Santillana.
- SOSA, P. (1999). "De palabras, de conceptos y de orden", *Educación Química*, vol. 10 (1) 57-60.
- (2004). "Química aritmética. Un primer paso hacia el cambio conceptual", *Educación Química*, vol. 15 (3) 248-255.
- SPENCER, J. N., Bodner, G. M., Rickard, L. H. (2000). *Química. Estructura y dinámica*, México, CECSA.

Los autores

Silvia Bello Garcés

Cursó la licenciatura en la Facultad de Química de la UNAM, y la maestría en Química Inorgánica, en la Universidad de Illinois. Su trayectoria es de 43 años de trabajo académico en docencia, investigación y difusión. Ha impartido alrededor de 40 cursos de actualización o superación a profesores de nivel secundaria, bachillerato y licenciatura, en México y en otros países. Ha presentado cerca de 95 trabajos de investigación en congresos nacionales e internacionales. Cuenta con artículos en revistas mexicanas y extranjeras arbitradas, libros de texto para secundaria, traducciones de libros de texto para bachillerato y licenciatura así como revisiones técnicas de libros para este último nivel.

bello@servidor.unam.mx

José Antonio Chamizo Guerrero

Cursó la licenciatura y la maestría en la Facultad de Química de la UNAM y el doctorado en la School of Molecular Sciences de la University of Sussex, Inglaterra. Es profesor de la Facultad de Química desde 1977; ha publicado más de 80 artículos arbitrados sobre química, educación, historia y divulgación de la ciencia. Es además autor o coautor de más de 30 capítulos en libros y de 40 libros de texto y divulgación. Fue director general del Colegio Madrid A.C. (1989-1997) y de la Dirección General de Divulgación de la Ciencia de la UNAM (1997-2000). Actualmente es el coordinador del Seminario de Investigación Educativa.

jchamizo@servidor.unam.mx

Fernando Flores Camacho

Es físico de formación básica, doctor en Pedagogía, con una amplia experiencia en el área de investigación educativa. Tiene una larga trayectoria en la investigación de procesos de aprendizaje y conocimiento de los profesores. Ha desarrollado material de enseñanza para estudiantes de distintos niveles; ha impartido numerosos cursos tanto para estudiantes como para profesores de posgrado. Desarrolla su trabajo en el Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET) en la UNAM.

flores@aleph.cinstrum.unam.mx

Alejandra García Franco

Es ingeniera química de formación, profesora de bachillerato y estudiante del doctorado en Pedagogía en la Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM. Sus principales intereses se encuentran

en la investigación sobre los procesos de aprendizaje de los estudiantes de secundaria y bachillerato en el área de química y en la formación de profesores para la enseñanza preuniversitaria.

alegfranco@gmail.com

Andoni Garritz Ruiz

Es ingeniero químico, maestro en Ciencias y doctor en Ciencias Químicas (Fisicoquímica) por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Fue director de la Facultad de Química de la UNAM de 1993 a 1997, donde hace 35 años da clases. Es investigador en didáctica de la química desde 1984. Ha publicado varios libros de texto y de divulgación, el último es *Química universitaria* de Pearson Educación, 2005. Es director de la revista *Educación Química*, que acaba de cumplir 16 años de vida.

andoni@servidor.unam.mx

Rosa Margarita Gómez Moliné

Es química, egresada de la Escuela Nacional de Ciencias Químicas de la UNAM y doctora en Didáctica de las Ciencias por la Universidad Autónoma de Barcelona. Profesora de la Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán (UNAM) de química analítica y de química general desde 1974. Además ha impartido cursos para formación de profesores en enseñanza de las ciencias. Las líneas de investigación que sigue son: Identificación de obstáculos de tipo cognitivo en los estudiantes de la FES-C: Propuestas para su superación y Los ejes transversales en los nuevos currículos. Los resultados se han presentado en congresos y en publicaciones especializadas.

marquim32@aol.com

Pilar Rius de la Pola

Cursó licenciatura, maestría y es candidata a doctora en Química, doctora en Educación. Directora de la Escuela de Farmacia de la Universidad Femenina de México. Ha impartido más de 300 cursos curriculares en 58 años de docencia, desde secundaria, hasta posgrado, y alrededor de 100 de formación y actualización. Ha dirigido 60 tesis de licenciatura y carreras técnicas. Profesora invitada en las universidades Johns Hopkins y Complutense. Ha presentado más de 50 trabajos y dos plenarios en congresos nacionales e internacionales, 40 publicaciones en investigación y difusión. Recibió el Premio Nacional de Química “Andrés Manuel del Río” 1987, en docencia.

pilarius@servidor.unam.mx

Plinio Sosa Fernández

Cursó licenciatura, maestría y doctorado en Físicoquímica en la UNAM. Cuenta con 55 publicaciones: 10 libros, una traducción, 13 arbitradas, 31 de divulgación. Ha dirigido nueve tesis: ocho de licenciatura, una de maestría. Ha asistido a 73 congresos: 45 nacionales, 28 internacionales. Ha impartido 164 cursos: 32 de bachillerato, 71 de licenciatura, 16 de posgrado y 45 para profesores.

plinio@servidor.unam.mx

Rufino Trinidad Velasco

Es ingeniero químico por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); maestro en Ciencias por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). Profesor de química en el nivel superior en la UNAM, la UAM, la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y la Universidad del Valle de México, así como del nivel medio superior en otras instituciones. Ha desarrollado trabajos en didáctica de las ciencias sobre concepciones alternativas de los estudiantes en química, así como sobre el CPC en la misma área.

rtvel_6510@yahoo.com

Esta obra se terminó de imprimir en los talleres
de Produgrafic en agosto del 2006.

Tel. 5239-5470

El tiro consta de 200 ejemplares.