

Enseñanza de las Ciencias naturales: un desafío a nivel mundial. El caso particular de enseñanza de la química

Lydia R. Galagovsky

Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias (CEFIEC)
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Ciudad Universitaria,
pabellón 2. 1428 Buenos Aires, Argentina
e-mail: lyrgala@qo.fcen.uba.ar

Resumen

Los países ricos con enormes recursos de infraestructura, económicos y tecnológicos para la enseñanza, no logran despertar el interés de sus alumnos por las ciencias naturales, en especial por la Química.

En este trabajo, en primer término, se analizan propuestas de superación que resultan reduccionistas, tales como: hacer que los estudiantes apliquen el "método científico"; hacer un listado con los contenidos "necesarios" y enseñarlos "bien"; hacer prácticas de laboratorio; evaluar sosteniendo niveles de exigencia y capacitar a los docentes.

Seguidamente, se presentan aportes para comprender algunos orígenes de las dificultades que enfrentan los estudiantes al tener que aprender ciencias naturales, tales como las diferencias entre información y conocimiento, y el papel de los lenguajes expertos, los modelos mentales y los modelos explícitos, como interfases de la comunicación entre expertos y novatos.

PALABRAS CLAVE: ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS- APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS

Abstract

Wealthy countries with huge amounts of educational infrastructure, economical and technological resources do not achieve to enhance their students' motivation towards science subjects; especially towards Chemistry.

In the first part of this paper, simplistic proposals to overcome this situation are analysed. Such proposals are: to make students to follow a "scientific method"; to make a good list of "necessary" subjects to be taught; to make lab practices; to maintain assessment within high quality standards and to qualify science teachers.

In the last part of this paper, some research-based proposals are presented in order to understand the origin of students' difficulties to learn natural sciences. Those approaches concern differentiation between information and knowledge, and the roll of languages and mental and explicit models as communicational mediators between professors and students.

KEY WORDS: SCIENCE TEACHING – LEARNING OF SCIENCE

Introducción

A escala mundial, la enseñanza de ciencias naturales y las disciplinas involucradas con ella se halla en crisis: los países ricos que cuentan con enormes recursos de infraestructura, económicos y tecnológicos para la enseñanza, no logran despertar el interés de sus alumnos por las ciencias, en especial por la Química (Galagovsky 2005, 2007a, 2008a). Efectivamente, en la última década se registra en los países centrales un marcado descenso - absoluto y relativo - en la matrícula de estudiantes en ciencias experimentales en el nivel de high school, acompañado de una muy preocupante disminución en el número de estudiantes que continúan estudios universitarios de base científica (Galagovsky 2008a). Además, se percibe una disminución en las capacidades de los estudiantes ingresantes a las primeras asignaturas de química universitaria para carreras como Medicina, Bioquímica, Nutrición, Enfermería, etc., y una preocupante mala percepción pública sobre la química en particular y sobre las ciencias, en general (Galagovsky 2005, Aikenhead, 2006).

Si bien en nuestro país no hay trabajos de investigación estadística sobre estas cuestiones, la percepción de los docentes, tanto de escuela media como de las primeras químicas universitarias, coincide con estos datos (Donati y Andrade, 2007).

Muchos expertos en disciplinas científicas (investigadores o docentes) creen que es muy sencillo revertir esta situación brindando "buena formación" a los estudiantes de secundaria al promover que ellos:

- apliquen el "método científico" y
- realicen prácticas de laboratorio, al tiempo que es necesario que los profesores:
 - elaboren un listado con los contenidos "necesarios" y los enseñen "bien" y
 - evalúen los logros de sus estudiantes sosteniendo niveles de exigencia y capacitar a los docentes.

Evidentemente esta "receta" sería óptima, si funcionara; sin embargo, investigaciones en didáctica y epistemología de las ciencias y de la química han revelado sistemáticamente que éstos son enunciados reduccionistas.

En el presente trabajo, siendo extremadamente breves analizaremos primeramente cuestionamientos a cada una de estas propuestas reduccionistas para luego, y basándonos en investigaciones en didáctica de las ciencias, hacer aportes que ayuden a comprender algunos orígenes de las dificultades que enfrentan los estudiantes al tener que aprender algunas asignaturas de las diferentes ciencias naturales.

Cuestionamientos a propuestas reduccionistas

- ¿Hacer que los estudiantes apliquen el "método científico"?

Los humanos tenemos la capacidad cognitiva de indagar nuestro entorno, por necesidad y también por curiosidad específica e innata. Nos interesa conocer aspectos de la Naturaleza para comprenderla y explicarla; así, poco a poco, la civilización se dirigió a la Naturaleza no sólo para temerle, sino también para dominarla.

La ciencia, con sus áreas y metodologías, es un aspecto del acervo cultural de la civilización que requiere para su transmisión, aprovechamiento y evolución ser recreada permanentemente como conocimiento por una parte de la población dentro de cada sociedad. Los docentes de ciencias somos quienes tenemos en nuestras manos profesionales tal objetivo.

Numerosas investigaciones en didáctica de las ciencias muestran que el sesgo ideológico predominante en los docentes de ciencias sobre qué es y cómo se trabaja en ciencias naturales es el proveniente del positivismo ingenuo (Círculo de Viena), postura epistemológica aparecida hace unos 80 años (Acevedo-Díaz y colaboradores, 2007). Esto significa puntos coincidentes, sobre todo con respecto a:

a) Creencias ingenuas respecto a la existencia de un método científico que:

i- Es considerado como un conjunto de ideas que lo limita a meras recetas de laboratorio, al registro cuidadoso de datos, o al control de variables experimentales, sin lugar para la interpretación subjetiva o para la imaginación de quienes proponen esas metodologías o analizan dichos datos.

ii- Consistiría en ejecutar una secuencia de etapas sucesivas: observación; problema;

hipótesis; experimento; resultados y conclusiones. Ahora bien, si los resultados no fueran los esperados, se debería replantear algún paso anterior (ver Figura 1). El supuesto es que un correcto cumplimiento de esos pasos aseguraría resultados válidos, lógicos y exactos.

iii- Aportaría resultados acumulativos, provenientes de sucesivos experimentos. La idea subyacente es que los científicos utilizan fundamentalmente razonamientos de tipo inductivo.

b) Creencias ingenuas respecto al pensamiento científico que:

iv- Niegan la casualidad y el azar como partes del proceso. La idea subyacente es que los científicos utilizan fundamentalmente razonamientos de tipo hipotético-deductivos.

v- Consideran que todo el conocimiento científico que se expresa en lenguaje matemático es seguro y conlleva una precisión absoluta.

vi- Consideran que la tecnología es "ciencia aplicada" (esta concepción distorsiona el

papel de la tecnología en la historia de la ciencia (López Arriazy y Soba, 2007).

Mansoor Níaz (2008) señala que la gran mayoría de los actuales científicos y docentes han sido formados con una tradición epistemológica empirista y una visión a-histórica de las ciencias, y esto es en parte debido a que pocos son los libros de texto, aun de niveles universitarios, que muestran algunas de las controversias que durante años pugnaron por sostener paradigmas científicos en conflicto. Lamentablemente, en muchos casos, el desconocimiento de otras miradas epistemológicas conlleva a algunos científicos a sobrevalorar sus propias creencias (Klimovsky y Boido, 2007).

Discutir qué tipo de ciencia debemos enseñar a nivel pre-universitario requiere al menos tomar conciencia sobre estas creencias, plantearnos cuestionamientos sobre ellas para, luego, reflexionar sobre la posibilidad de generar una "ciencia escolar". Permitámonos, entonces, un aporte para alimentar el debate (Galagovsky, 2008c).

No existe un "método científico" con el cual se "descubre" la "verdad".

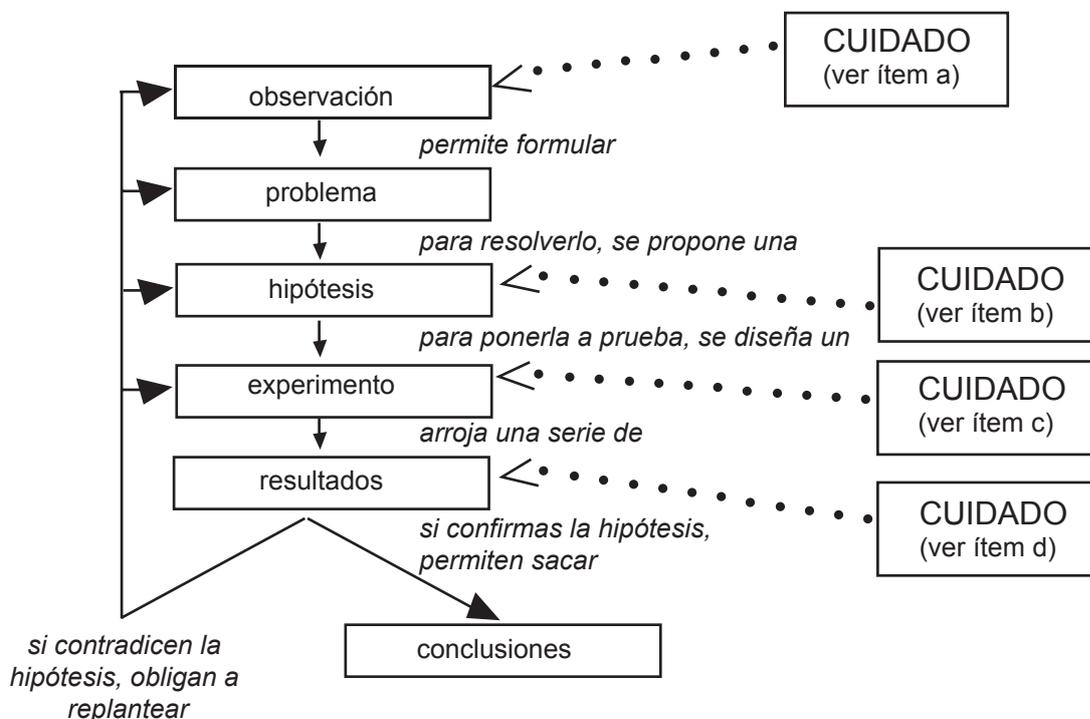


Figura 1. Cuestionamientos principales a la idea ingenua de "secuencia de pasos del método científico"

La naturaleza real o inventada del conocimiento científico es parte de una polémica vigente, entre el realismo ingenuo (las leyes se descubren porque están en la naturaleza) y el constructivismo instrumental (las leyes se inventan para interpretar los hechos) (Cutrera, 2008). Los conceptos "descubrir" y "verdad" deben reverse a la luz de los sesgos narrativos de historiadores y de reflexiones de filósofos, respectivamente (Schnek, 2008; Piscitelli, 1995).

Centrémonos en este trabajo en algunas reflexiones que permitan cuestionar el esquema estereotipado del supuesto "método científico", que mostramos en la Figura 1, y que aparecen allí con carteles de advertencias.

Ítem a) ¿Por qué hay que tener cuidado con el término "observación"?

El supuesto método científico comienza por la "observación". Este punto debería generar gran controversia, pues al menos hay tres acepciones para el significado de esta palabra.

Caso 1: Puede interpretarse el concepto de "observar" como el de "describir".

Una descripción proveniente de observaciones perceptivas no se somete necesariamente a discusión, a verificación, a comprobación o a refutación. Los procesos mentales que originan una descripción no necesariamente se continúan con la generación de un conflicto y, por lo tanto, no ponen en funcionamiento pensamientos de resolución de problemas. Este punto se hace crítico cuando se intenta llevar al aula la consigna de que "los estudiantes deben observar", pues lo que observa un experto frente a un fenómeno o a una experiencia puede no tener que ver con lo que un alumno es capaz de "captar". Para el estudiante el problema con el cual se enfrenta es "¿qué quiere el docente que yo mire?" (Galagovsky, 2004a, b).

Caso 2: Puede interpretarse el concepto de "observar" como el de "a ver qué pasa si...".

Un sujeto puede decidir "observar" cuando está buscando inductivamente indicios en el mundo externo. Este sujeto tiene en su mente una pregunta y genera ex profeso una situación que le permita recabar información. Hace algo, provoca un fenómeno, busca datos, porque ya tiene un problema dándole vueltas en la cabeza. Cuando va a "observar" tiene una intención previa. Quizás aún no tenga bien precisado qué aspectos del problema son los relevantes pero

tiene en su mente un conflicto cognitivo conciente. Este significado de "observación no está contemplado en la visión estereotipada de "pasos del método científico" (ver que en la Figura 1 el problema aún no existiría en la mente del investigador). La visión inductivista ingenua del positivismo -ya desechada desde la epistemología- suponía que un científico puede observar algo sistemáticamente sin tener motivos y, a partir de sus resultados acumulados, llegar a tomar conciencia de un problema.

Caso 3: Puede interpretarse el concepto de "observar" como el de "poner a prueba una hipótesis para confirmarla o rechazarla".

Un sujeto puede querer "observar" el resultado de poner a prueba una hipótesis. Sería el caso de alguien que tiene claro cuál es el problema que quiere resolver, que lo ha delimitado, y que elaboró alguna hipótesis para su resolución. Es decir, en este caso, el significado de "observación" está asociado al registro de datos provenientes del despliegue de un pensamiento de tipo *hipotético-deductivo*.

Dadas las tres interpretaciones posibles del término "observación", deducimos que esta palabra es lo suficientemente ambigua como para destruir la visión ingenua del "método científico" desde su mismísimo primer paso. La observación puede ser descriptiva, exploratoria o probatoria; y los tres casos pueden insertarse perfectamente en metodologías científicas muy diversas; pero en ningún caso alguien que "observa" tiene previamente "su mente en blanco" y "descubre" algo importante a partir de una observación ingenua.

Ítem b) ¿Por qué tener cuidado con el término "hipótesis"?

Frente a un conflicto cognitivo conciente un sujeto puede contestar desde su "buen saber y entender"; esto significa hacer explícita una representación mental de su mundo personal. Este mundo personal incluye todo su conocimiento y sus estrategias cognitivas, pero también incluye sus prejuicios, creencias, supuestos, hábitos, tendencias, interpretaciones, etc., etc., sean éstos explícitos o implícitos. Al emitir una "opinión" sobre cómo se resolvería el problema, este sujeto pone en palabras su forma de expresar ideas idiosincrásicas. Una opinión puede convertirse en una "explicación". Algunas explicaciones podrán convertirse en "hipótesis", si es que se van a sostener, discutir, po-

ner a prueba. Pero, convengamos, no todas las opiniones valen la pena ser discutidas o ponerse a prueba.

Generalmente los términos "hipótesis" y "opinión" se confunden en la jerga cotidiana y desde esa significación ambigua puede ser leída cuando se la inscribe en los pasos del método científico estereotipado (Figura 1) y cuando se lleva esta versión al aula.

Las discusiones y las argumentaciones que tienen lugar entre comunidades de expertos son parte de la metodología de las ciencias –cualquier tipo de ciencias– y estas actividades también deberían considerarse como puesta a prueba de hipótesis. Sin embargo, los procesos de discusión y argumentación no están explícitamente comprendidos en la secuencia del método científico estereotipado, donde –tal como se muestra en la Figura 1- las hipótesis solo se pondrían a prueba mediante experimentos.

Ítem c) ¿ Por qué es reduccionista el término "experimento"?

Básicamente un experimento permite obtener información, obtener datos dentro de un proceso de investigación. Hay muchas formas de obtener elementos informativos y, dependiendo del tipo de problema y de la tecnología disponible para la investigación, se requerirá, o no, un experimento. Podríamos cuestionarnos, por ejemplo, cuál es el significado de "experimento", recordando que las mediciones de Tycho Brahe dieron lugar a las Leyes de Kepler (enunciadas en 1609 y 1618) mucho antes del nacimiento de Newton (Cutrera, 2008).

Medir no es necesariamente experimentar. Con esto queremos señalar que el hecho de tener numerosísimos datos de mediciones reproducibles a lo largo de los años llevó a Kepler a enunciar regularidades encapsulables en fórmulas matemáticas que permitían explicar y predecir fenómenos; pero esto no fue experimentar con los planetas. Entonces, ¿podemos considerar a esos registros como provenientes de experimentos? ¿Tenía la precisión de esas medidas una relación directa con el carácter verdadero o falso de las hipótesis que las sustentaban?

Evidentemente, experimentar no es solamente tomar registros sistemáticos; y tener registros exactos y sistemáticos no asegura llegar a hi-

pótesis que se conviertan en explicaciones definitivas.

Ítem d) ¿Por qué hay que tener cuidado con el término "resultados"?

La pregunta que nos hacemos es: ¿obtengo datos o resultados como producto de acción de investigación? Desde la postura ingenua se puede suponer que se obtienen resultados; sin embargo, la historia de las ciencias naturales nos relata numerosos casos donde los mismos datos han sido interpretados de forma totalmente diferente para abonar una u otra teoría alternativa.

Sabemos también que las hipótesis ad hoc (Hempel, 1973) abundan como recurso argumentativo cuando los datos obtenidos no se ajustan estrictamente a las predicciones y que, justamente, el progreso científico implica una permanente discusión sobre la interpretación de hechos y datos. Durante la primera mitad del siglo XIX científicos de la talla de Dalton y Gay-Lussac se enfrentaron y no llegaron a acuerdos en cuanto a la significación de datos experimentales provenientes de la combinación de masas y de volúmenes de componentes de reacciones químicas simples, respectivamente. Cada uno de ellos tenía una visión teórica particular y ambos sostenían que sus teorías eran confirmadas por esos datos (Gellón, 2007).

Estos cuatro puntos aquí tratados brevemente (para ampliación ver Galagovsky, 2008b) tienen el propósito de derribar la idea ingenua de existencia de "una secuencia de pasos del método científico". Habría, pues, metodologías científicas, tan variadas como problemas diferentes a abordar. La sofisticación y rigurosidad de las metodologías científicas tienen que ver con los instrumentos tecnológicos y teóricos construidos a lo largo de dicha historia. Pero aún una larga trayectoria investigativa no garantiza llegar a verdades absolutas. Los conocimientos científicamente validados surgen a partir de acuerdos entre grupos de expertos y suelen modificarse constantemente, conforme avanzan las investigaciones.

A nivel de discusiones epistemológicas actuales está abierta la pregunta qué es hacer ciencia. Ahora bien, los que enseñamos ciencias naturales debemos preguntarnos más allá; es decir, qué significa y cómo se hace para que los estudiantes "aprendan ciencia".

¿Hacer un listado con los contenidos necesarios y enseñarlos “bien”?

Recomendamos leer a López Arriazu y Soba (2008) para una revisión acerca de la enseñanza de la Física. Para la asignatura Química Wobbe de Vos y Pilot (2002) señalan que fue introducida como una materia regular de la escuela secundaria en Holanda en 1863. Esta fecha es sorprendentemente temprana, si consideramos que en 1863 la Tabla Periódica de elementos de Mendeleev era todavía desconocida, nada se sabía sobre la estructura del átomo y las uniones químicas eran un gran misterio. Kekulé publicó su fórmula estructural del benceno en 1865 y al trabajo de Van 't Hoff sobre la forma tridimensional de las moléculas orgánicas no apareció hasta 1874. De hecho, en 1863 los químicos sólo habían podido acordar —tras el encuentro en Karlsruhe en 1860— sobre la fórmula del agua como H₂O y no OH.

El objetivo de impartir dicha asignatura en una escuela totalmente elitista era ilustrar a determinados jóvenes -pertenecientes a poderosas familias de comerciantes holandeses- sobre las últimas tecnologías analíticas, para evaluar o confirmar calidad de las mercaderías (ácidos, bases, minerales, metales, piedras preciosas, etc.). Los conocimientos provenían de una *tecnología química* propia de esa época. Los docentes de dicha asignatura eran investigadores; por lo tanto, la química escolar involucraba el máximo conocimiento profesional de la época.

En los siguientes 150 años se desarrollaron las teorías físico-químicas, tales como electroquímica, equilibrio, cinética y química termodinámica, las teorías atómicas y las teorías sobre las uniones químicas. También se descubrieron, sintetizaron, desarrollaron o estudiaron nuevos compuestos y tipos de materiales (entre ellos, polímeros naturales y sintéticos); hicieron irrupción nuevas técnicas experimentales (tales como la difracción de rayos X y distintas espectroscopías); la bioquímica se desarrolló fuertemente, abriendo nuevos campos de conocimiento en ciencia y tecnología.

Debido a que se sostuvo durante todo ese lapso la idea de que la Química en la escuela debía ser un panorama de lo que ésta es como disciplina científica, se agregaron todos los temas en el currículo.

Poco a poco, el currículo de la asignatura Química se fue engrosando, nuevos tópicos se agregaron como capítulos adicionales, o como información adicional al final de cada capítulo. Los viejos temas fueron presionados por los nuevos y el currículo de la disciplina fue adquiriendo un perfil de tipo sedimentario; con sucesivas capas de conocimiento depositadas una sobre otra, no siempre bien conectadas y algunas veces con inconsistencias entre ellas.

Debido a esa presión sedimentaria demandante de sumar más y más contenidos al currículo, los libros de texto fueron eliminando las discusiones, las controversias, las coexistencias de teorías antagónicas, las historias humanas asociadas a los descubrimientos (Níaz, 2008). Así, se llegó al currículo actual de la materia, que no brinda a los estudiantes una idea adecuada de qué es lo que está pasando en los modernos laboratorios -de investigación o industriales- de Química, y no los atrae a continuar estudiando esta disciplina científica; más bien los induce a todo lo contrario. El triunfo de la disciplina científica Química se convirtió en la tragedia de la materia escolar Química (Izquierdo y colaboradores, 1999).

¿Podrá cambiarse esta situación? Wobbe de Vos y Pilot advierten sobre la dificultad para ello; a la tradición de selección curricular mencionada en los párrafos anteriores, se suma la de preguntarle a los expertos científicos en las subáreas de química cómo hacer para modificar ese currículo. Generalmente, los expertos responden proponiendo más listas interminables de temas a ser enseñados. Es decir, el currículo de la materia se ha vuelto auto-referente, tanto en su formato como en la forma de construirlo.

En resumen, el currículo de Química que se propone para la escuela secundaria es prope-
deúutico, abstracto y extensísimo; ésta puede ser una de las causas que alejan a los estudiantes de esta disciplina científica. La cantidad de conocimientos químicos que se producen anualmente en nuestra cultura occidental es explosiva... ¿Hasta cuándo continuaremos sosteniendo las tradiciones mencionadas?

¿Hacer recetas como prácticas de laboratorio?

Nakhleh y colaboradores (2002) reseñan inves-

tigaciones realizadas hasta el año 2002 sobre ventajas, desventajas, expectativas y logros reales en la utilización del laboratorio en clases de química de nivel secundario. Como posturas extremas se encuentran las de quienes proponen que durante las prácticas de laboratorio los estudiantes alcanzan altos niveles de comprensión a partir de la verificación de principios químicos (habilidades del dominio cognitivo) y, simultáneamente, adquieren entrenamiento en destrezas técnicas (habilidades motoras). En el otro extremo, hay posturas que cuestionan los pocos beneficios que aportaría el trabajo de laboratorio en relación con el tiempo invertido por estudiantes y docentes (Kirschner y Meesterm, 1998). Particularmente estas críticas ponen en evidencia que muchas de las destrezas motoras, supuestamente aprendidas durante el laboratorio, no son las que luego necesitarían los estudiantes para realizar trabajos en el nivel universitario o en industrias reales. Asimismo, se advierte que cuando el laboratorio solo supone ejercicios de verificación de lo visto en teoría, los estudiantes se desmotivan y disminuye su curiosidad. Desde esta perspectiva, este tipo de actividades serían perjudiciales para la valoración de la asignatura y perfectamente reemplazables con demostraciones. Hofstein y Lunetta (2004) proponen nuevas formas del trabajo en laboratorio, basadas en preguntas.

¿Evaluar sosteniendo el nivel de exigencia y capacitar a los docentes?

Con respecto a la evaluación, durante los últimos 20 años numerosas investigaciones educativas mostraron errores conceptuales importantes en temas de ciencia --y de química--, en estudiantes y egresados de secundaria, en diversos países (Pozo y Gómez, 1998; Talanquer, 2006). De alguna forma, esta contundencia en la comprobación empírica sobre la escasa significatividad y consistencia científica de los aprendizajes de los estudiantes generó reflexiones sobre qué y cómo se está enseñando ciencias. Surgieron entonces recomendaciones para mejorar la imagen pública de las ciencias (y de la química) mediadas por enfoques de tipo Ciencia-Tecnología-Sociedad (en inglés: context-based approaches), tales como Science: *The Salters Approach*, y *Salters Advanced Chemistry* (en el Reino Unido). Estas experiencias resultaron muy motivadoras para estudiantes y docentes; sin embargo, tuvieron

serios problemas a la hora de ser evaluadas. Bennet y Holman (2002) señalan al respecto que *"La evaluación tiene una poderosa influencia sobre qué y cómo enseñan los docentes. Existe el riesgo que los docentes, bajo la presión de tener que enseñar mucha cantidad de contenidos, sientan que tienen que cortar camino para ahorrar tiempo y, entonces, se enfocan más en los conceptos que en el contexto a partir del cual deben surgir."* Estos autores señalan también la dificultad de hacer evaluaciones en contextos que sean coherentes con los objetivos y que no abrumen a los estudiantes y resaltan la necesidad de más investigación al respecto.

Cabe reflexionar acerca de la necesaria capacitación docente una vez delineados los objetivos de la enseñanza ya que, para que éstos se alcancen, los docentes deben proponer actividades de enseñanza y evaluaciones coherentes con dichos objetivos. Esto significa que la capacitación docente debe ser continua y no solo referida a contenidos científicos, sino también en relación con cuestiones pedagógicas y didácticas.

Cierto es que para muchos científicos ser expertos en un tema disciplinar es sinónimo de ser un "buen docente"... Sin embargo, los estudiantes perciben perfectamente que puede no ser así (Calderón, 2007). En resumen, una buena capacitación para docentes debe incluir tanto aspectos de ciencia como de didáctica de las ciencias.

Algunos aportes provenientes de investigaciones en didáctica de las ciencias

Diferencias entre INFORMACIÓN y CONOCIMIENTO

Información y conocimiento son dos conceptos que no deberían utilizarse como sinónimos. Bajo el nombre genérico de INFORMACIÓN, se designaría una gama inmensa de recursos que circulan en torno a situaciones de enseñanza-aprendizaje: el material relativo a los contenidos conceptuales de un tema (libros, apuntes, videos, material de Internet, discurso del docente, etc.), las consignas del docente respecto a las actividades que deben hacerse, las opiniones de los compañeros, etc. La información nos llega necesariamente mediada por algún lenguaje -con sus variantes:

verbal, visual, gráfico, simbólico, gestual, matemático, etc.-, o mediante combinaciones de lenguajes. Cada lenguaje tiene sus propios códigos y formatos sintácticos aceptados. Es imprescindible que los docentes (expertos) y los alumnos (novatos) compartan esos códigos y formatos sintácticos para poder establecer una buena comunicación.

Lo que se imparte en la escuela, lo que se presenta en textos, enciclopedias, Internet, videos, etc., no es conocimiento; es información. Definiremos como CONOCIMIENTO a aquella información que está "dentro de la cabeza de un sujeto"; en su mente, tal como se muestra en la Figura 2. En el acto de aprender, de toda la información presentada a cualquier sujeto, éste sólo podrá procesar una pequeña parte. Este procesamiento dependerá de lo que el sujeto ya sabe sobre el tema en cuestión, de sus estrategias de aprendizaje y de la atención que ponga en el *procesamiento de la información* (Galagovsky y Bekerman, 2008).

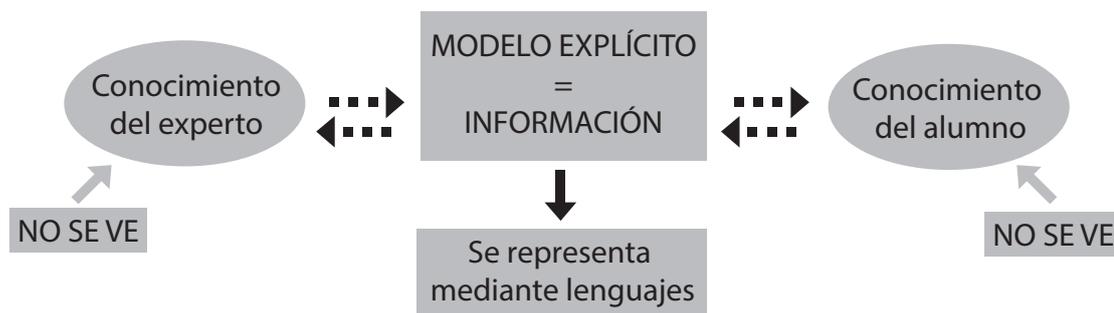


Figura 2. Una necesaria diferenciación entre información y conocimiento

Los lenguajes son las interfases obligadas entre la INFORMACION (externa al sujeto) y el CONOCIMIENTO. El conocimiento que maneja un experto "no se transmite directamente desde su cabeza a la del novato" sino que se requiere la mediación del lenguaje. Recíprocamente, el estado de conocimiento que ha adquirido el alumno sólo se podrá evaluar si lo expresa como información. En la Figura 2 se representa esta situación de invisibilidad del conocimiento.

El docente sabe cuáles son los materiales con que cuenta para enseñar determinado tema y decide cuál es la parte importante de la información que quiere enseñar. Una vez seleccionada esta información debería organizarla

conceptualmente, es decir, debe realizar un análisis de aquellos conceptos y relaciones que considera fundamentales y de los que quiere asegurarse su reconstrucción en la estructura cognitiva de sus alumnos.

El docente debería tener en claro que:

- La simple exposición de información generalmente no logra que los estudiantes la transformen en conocimiento.
- No se corresponde más información presentada a los estudiantes con aumento de sus conocimientos; muchas veces ocurre todo lo contrario.
- Cada estudiante puede otorgar significados diversos a la información que recibe y con ellos construir modelos mentales idiosincrásicos, generalmente muy alejados de lo que el docente tiene en su mente.
- El conocimiento que maneja un experto docente no se transmite directamente desde su cabeza a la del estudiante.

Los lenguajes expertos, los modelos mentales y los modelos explícitos como interfases de la comunicación entre expertos y novatos.

La comunicación entre profesores y estudiantes de ciencias naturales encuentra una serie de dificultades, una de las cuales está asociada a la brecha que se produce entre el lenguaje cotidiano (en sus aspectos sintácticos y semánticos) y el *lenguaje científico erudito* (Galagovsky y colaboradores, 1998, 2003).

A través del lenguaje, cada sujeto construye sus conocimientos. Parte de esos conocimientos son nuestras creencias, ideas, opiniones,

significaciones, etc. A todo ese conjunto de elementos de nuestro conocimiento lo llamamos representaciones mentales; cuando un conjunto de ellas se articula en torno de un contenido, podemos considerar que el sujeto construye un modelo mental sobre dicha temática, que le es funcional para entender y predecir hechos. Los expertos en un tema manejan modelos mentales acerca de ese contenido. Al enseñar, utilizamos una gran cantidad de recursos didácticos para expresar esos modelos mentales,

tales como expresiones verbales, gráficas, matemáticas, analogías, videos, simulaciones, experiencias de laboratorio, etc. Proponemos (Galagovsky y colaboradores, 2008) que un modelo mental experto, al ser expresado, se convierte en un "modelo explícito", que es información (ver Figura 3). Los modelos explícitos están expresados en diferentes lenguajes y su complejidad varía según el nivel educativo para el cual se los utilice.

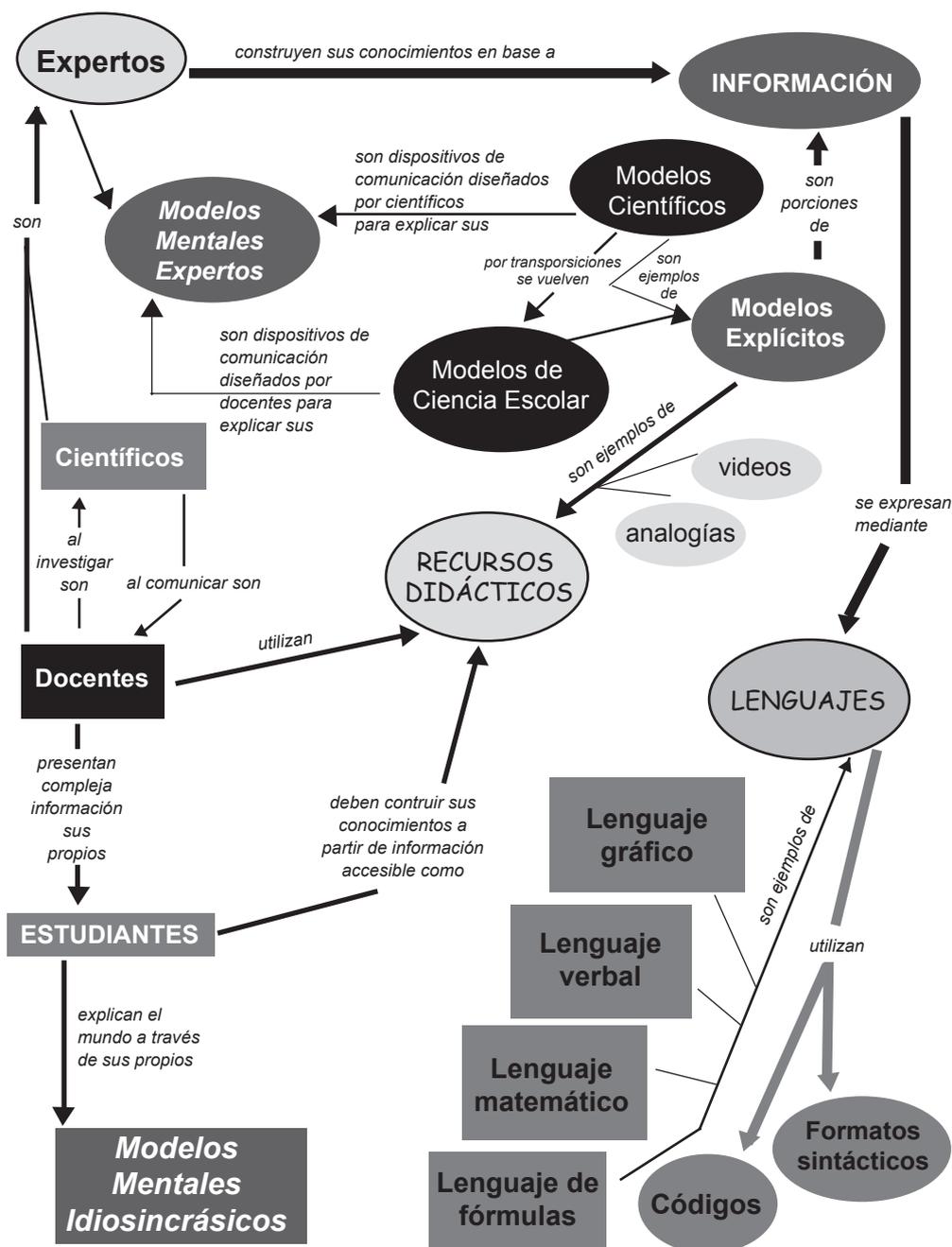


Figura 3. El papel de los lenguajes en la comunicación entre expertos y estudiantes

Los estudiantes construyen en sus mentes sus modelos mentales sobre ese tema, a partir de los recursos didácticos que les son accesibles. Desde nuestro enfoque las investigaciones que señalan ideas previas erróneas y resistencias al cambio conceptual en los estudiantes estarían poniendo en evidencia la existencia de sus modelos mentales idiosincrásicos, muchos de los cuales se construyeron como conocimientos provenientes de formas erróneas de procesar la información que les fue presentada en las aulas.

En forma de red conceptual (Galagovsky, 1999)

las múltiples formas que tenemos para comunicarnos unos sujetos con otros. El lenguaje puede ser visual, verbal, gráfico, simbólico, matemático, escrito, etc., y cada uno de estos tipos de lenguaje tendrá sus códigos sintácticos que, socialmente convalidados, permitirán hacer explícito el mensaje que pretende comunicarse. El aspecto sintáctico es el aspecto explícito de un mensaje o de una información; es aquella estructura que todos pueden apreciar (percibir) de la comunicación. El aspecto semántico, en cambio, es la significación a la que me remite cada parte o el todo de una comunicación que tiene un determinado aspecto sintáctico.

Destrezas cognitivas de un experto	Modelos mentales <i>del campo de conocimientos en el cual es experto</i>	
	Lenguajes expertos con:	Aspectos semánticos (significaciones expertas) Aspectos sintácticos (explícitos)
Destrezas cognitivas de un novato	Representaciones mentales desde su conocimiento cotidiano... <i>construye modelos mentales idiosincrásicos</i>	
	Lenguaje cotidiano con:	Aspectos semánticos ¿Qué significaciones contruye? Aspectos Sintácticos (explícitos)

Figura 4. Elementos de la comunicación que diferencian a expertos de novatos, en un dado campo de conocimiento

la Figura 3 resume los conceptos centrales de los párrafos anteriores, y sus relaciones.

Los aspectos sintácticos de los lenguajes y la evaluación

La Figura 4 muestra el paralelismo entre las representaciones mentales y los lenguajes utilizados por expertos o por novatos. Allí se muestra resaltado que sólo los aspectos sintácticos del lenguaje son explícitos y, por lo tanto, son la información circulante.

El aspecto sintáctico del lenguaje se refiere a

La significación que se da a las palabras es algo que ocurre "dentro de la cabeza" de los sujetos. Esta destreza cognitiva no se puede "ver" ni percibir mediante los sentidos. Por ejemplo, si leemos la oración: "El sol transpira hasta soñar", se trata de una oración sintácticamente bien construida porque tiene sujeto, verbo y predicado; sin embargo, aunque el formato sintáctico es coherente con el idioma castellano y podemos darle significado a cada una de sus palabras, la oración completa puede tener varias interpretaciones o no encontrarse ninguna. Este aspecto de interpretación es la relación semántica que establecemos sobre ese

formato sintáctico explícito.

Otro ejemplo podría ser el de tener escrita una ecuación, o un gráfico. Para el experto cada parte de esa ecuación o gráfico, así como el todo, tienen un determinado sentido, una significación que, además, es compartida por otros expertos. En cambio, para un novato, esa sintaxis puede no tener ningún tipo de significación; o bien darle otra significación, desde su "buen saber y entender", desde su sentido común, desde su conocimiento cotidiano (Galagovsky y Bekeman, 2008).

podría pasar totalmente inadvertida para un docente, si en la evaluación se le pidiera al estudiante que dibujara la formación del cloruro de sodio, y éste la efectuara meticulosamente como respuesta el dibujo de la Figura 5.

Las representaciones mentales que tiene un experto acerca de un tema son niveles complejos de significación que se combinan y expresan mediante sintaxis alternativas, mediante expresiones que exaltan o simplifican aspectos parciales de dicha complejidad. Todos estos aspectos sintácticos de la información científica

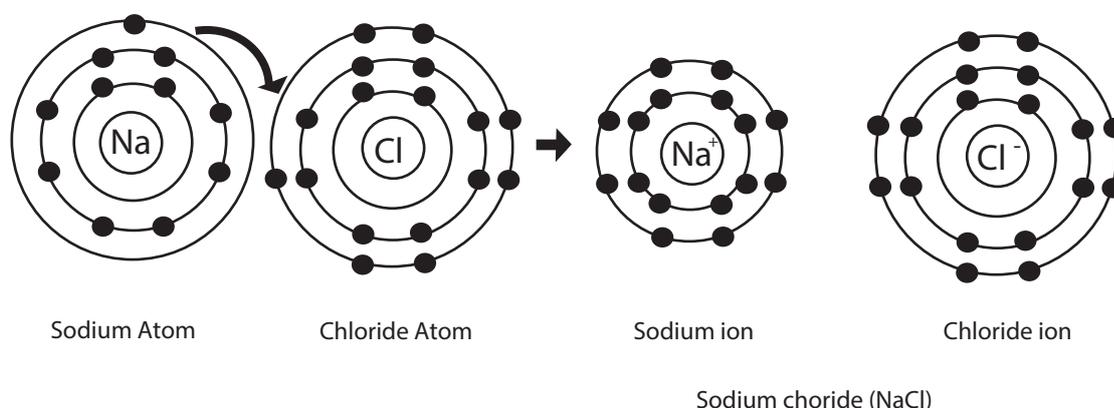


Figura 5. Representación gráfica que muestra el proceso de formación de la unión iónica de cloruro de sodio

Veamos, por ejemplo, en la Figura 5 una representación concreta —un formato sintáctico— sobre la formación de la sal cloruro de sodio. Un estudiante de Química —obviamente no experto— podría efectuar las siguientes deducciones de dicha figura:

- Los átomos están formados por aros
- Dentro del aro más pequeño van las letras.
- Los electrones están bien ordenados.
- En un momento el electrón que está desordenado en el sodio se ubica en el lugar correcto del cloruro.
- Después los átomos quedan más separados, y los electrones del sodio quedan más apretados y mejor ordenados.
- En un momento el electrón que está desordenado en el sodio se ubica en el lugar correcto del cloruro.
- Después los átomos quedan más separados, y los electrones del sodio quedan más apretados y mejor ordenados.

Estas afirmaciones son totalmente erróneas desde el punto de vista experto; sin embargo, esta construcción de conocimiento erróneo

son alternativas que los expertos interpretan perfectamente como convergentes e, incluso, como traducciones aclaratorias.

Los estudiantes, en el desarrollo de su oficio de "ser alumnos", aprenden cómo hacer para aprobar exámenes. Sus estrategias frecuentemente consisten en repetir memorísticamente los aspectos sintácticos del lenguaje experto, aunque no tengan para ellos ningún significado, pues saben que, finalmente, aprobarán sus exámenes si repiten tales expresiones. Los docentes, que solemos evaluar con preguntas cuyas respuestas tienen formatos parecidos o idénticos a los presentados durante la enseñanza, las leemos como evidencias de "aprendizaje correcto".

Consideraciones finales

En el presente trabajo hemos presentado una selección de problemas relacionados con la enseñanza de las ciencias naturales y, en especial, de la Química. Luego, hemos presentado

sugerencias para entender algunas dificultades de aprendizaje de los estudiantes, provenientes de la investigación educativa, destacando la complejidad de las relaciones entre información, conocimiento y lenguajes. En nuestras recomendaciones destacamos la importancia de la evaluación para diferenciar entre aprendizajes aislados y repetitivos o aprendizajes sustentables (Galagovsky, 2004a,b), con comprensión.

Teniendo presente los conceptos señalados en párrafos anteriores hacemos el siguiente planteo:

i- Los expertos investigadores deberíamos tomar conciencia sobre que:

- No hay una concepción "única y verdadera" de ciencia.
- No hay un "único y verdadero" método científico.
- El currículo de Química escolar presenta excesiva cantidad de contenidos, y se aleja de la idea de alfabetización científica.
- El incremento geométrico de conocimientos generados por la ciencia exige la investigación sobre formas alternativas de selección de contenidos para la enseñanza.
- La transcripción de contenidos de la universidad a la secundaria, con fines propéuticos, desatiende y desmotiva a la inmensa mayoría de los estudiantes (Aikenhead, 2006).

ii- Los docentes de escuela secundaria deberíamos tomar conciencia sobre que:

- Los estudiantes de secundaria -como todos los seres humanos- tienen capacidad limitada de procesamiento de información; la exigencia de un esfuerzo para aprender algo que no tiene significatividad se relaciona directamente con la desmotivación y el rechazo.
- Los estudiantes de secundaria, como integrantes de una cultura globalizada postmoderna, perciben negativamente a la Química

como contaminante del planeta y como una disciplina "difícil", cuya salida laboral no recompensa el esfuerzo que demanda aprehenderla.

- Los que elegimos enseñarla, debemos aceptar que sólo algunos de nuestros estudiantes de secundaria estarán interesados en seguir ciencias. La mayoría de ellos no seguirán carreras relacionadas con ella pero serán ciudadanos y ciudadanas que deberían llegar a valorarla a partir del contacto con esta disciplina durante sus años de secundaria.

- La enseñanza de ciencias en general, y de Química en particular, debería ser un vehículo para estimular en los estudiantes la auto-confianza en sus capacidades cognitivas y en sus cualidades creativas, en desarrollar estrategias positivas de trabajo en equipo y de comunicación. Enseñar no debe ser forzar a estudiar de memoria respuestas sin significado a preguntas que los estudiantes jamás se hicieron (Galagovsky, 2004a, b).

ii- Los docentes universitarios de química deberíamos tomar conciencia sobre que:

- La universidad debería hacerse cargo de proveer los medios necesarios para que los estudiantes ingresantes puedan nivelar sus conocimientos previos –parciales o inexistentes– hasta alcanzar aquéllos considerados como requisitos para las primeras materias (Donati y Gamboa, 2007; Martínez Riachi, 2007).
- No debería exigirse que esos contenidos ya sean traídos como bagaje cognitivo desde la escuela secundaria, pues ello condena a la desmotivación, la resistencia y la mala percepción pública de la Química para la gran mayoría de los futuros ciudadanos.

Finalmente, no es exclusivamente con documentos o con leyes de reforma educativa que se mejorará la calidad de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. Hay mucho por hacer y mucho por investigar.

Referencias

- ACEVEDO DÍAZ, J.; VÁZQUEZ ALONSO, A.; MANASSERO MAS, M.; ACEVEDO ROMERO, P. (2007) *Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: aspectos epistemológicos*. Rev. Eureka. Enseñ. Divul. Cien., 4(2), 202-225.
- AIKENHEAD, G. S. (2006) *Science Education for Everyday Life. Evidence-based practice*. Teachers College Press, Columbia University, New York.
- BENNETT, J. y HOLMAN J. (2002) *Context-based approach to the teaching of chemistry are they and what are their effects?* En *Chemical Education: Towards Research-based Practice*; Gilbert, J. K.; De Jong, O.; Justi, R.; Treagust, D. F.; Van Driel, J. H, editores; Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- CALDERÓN, M. (2007) *Educación Superior y cambio de paradigma: del mito a la ciencia*. Exactamente 12(36), 35.
- CUTRERA, G. (2008) *Teorías científicas: ¿son o interpretan el mundo real? En ¿Qué es lo que tienen de "naturales" las ciencias naturales?* Colección Las Ciencias Naturales y su Enseñanza, Editorial Biblos, Buenos Aires.
- DONATI, E.; ANDRADE GAMBOA, J. (2007) *¿Qué queremos que sepan sobre Química los alumnos que ingresan a la Universidad?* Química Viva, mayo.
- GALAGOVSKY, L. (2004a) *Del Aprendizaje Significativo al Aprendizaje Sustentable. Parte 1: el modelo teórico*. Enseñanza de las Ciencias 22(2) 230-240.
- GALAGOVSKY, L. (2004b) *Del Aprendizaje Significativo al Aprendizaje Sustentable. Parte 2: derivaciones comunicacionales y didácticas*. Enseñanza de las Ciencias, 22(3), 349-364.
- GALAGOVSKY, L. (2005) *La Enseñanza de la Química Pre-Universitaria*. Química Viva 4(1) <http://quimicaviva.qb.fcen.uba.ar>
- GALAGOVSKY, L. (2007a) *Enseñar química vs. aprender química: una ecuación que no está balanceada*. www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar (Abril)
- GALAGOVSKY, L. (2007b) *Enseñanza vs. aprendizaje de las Ciencias Naturales: El papel de los lenguajes y su impacto en la comunicación entre estudiantes y docentes*. Episteme, Tecné y Didaxis, número extra, 66-87.
- GALAGOVSKY, L. (2008a) *2008: el año de la enseñanza de las ciencias naturales en la Argentina*. Química Viva 1 (7) abril. quimicaviva@qb.fcen.uba.ar.
- GALAGOVSKY, L. (2008b) (compiladora) *¿Qué es lo que tienen de "naturales" las ciencias naturales?*, colección Las Ciencias Naturales y su Enseñanza, Editorial Biblos, Buenos Aires.
- GALAGOVSKY, L. (2008c) *Capítulo ¿Se puede hacer "ciencia" en la escuela?, en libro ¿Qué tienen de "naturales" las Ciencias Naturales?*, colección Las Ciencias Naturales y su Enseñanza. Editorial Biblos, Buenos Aires.
- GALAGOVSKY, L.; ADÚRIZ BRAVO, A. (2001) *Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico*. Enseñanza de las Ciencias 19 (2), 231-242.
- GALAGOVSKY, L.; BEKERMAN, D. (2008) *Un nuevo marco teórico para analizar errores de los estudiantes. Parte 1: el caso del lenguaje de fórmulas químicas*. Enviado a Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, Vigo, España.
- GALAGOVSKY, L.; BONÁN, L.; ADÚRIZ BRAVO, A. (1998) *Problemas con el lenguaje científico en el aula. Un análisis desde la observación de clases de Ciencias Naturales*. Enseñanza de las Ciencias 16 (2), 315-321.
- GALAGOVSKY, L.; RODRÍGUEZ, M.; STAMATI, N.; MORALES, L. (2003) *Representaciones Mentales, Lenguajes y Códigos en la Enseñanza de Ciencias Naturales. Un Ejemplo para el Aprendizaje del Concepto Reacción Química a partir del Concepto de Mezcla*. Enseñanza de las Ciencias 21(1), 107-121.
- GALAGOVSKY, L.; DI GIACOMO, M. A.; CASTELO, V. (2008) *Modelos vs. dibujos: el caso de la enseñanza de fuerzas intermoleculares*. Enviado a Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, Vigo, España.
- GALAGOVSKY, L. (1999) *Redes Conceptuales: Memoria, Comunicación y Aprendizaje*. Editorial Lugar, Buenos Aires, 2da. Edición.

GELLON, G. (2007) *Había una vez el átomo*. O cómo los científicos imaginan lo invisible. Editorial Siglo XXI, Buenos Aires.

HEMPEL, C. (1973) *Filosofía de la Ciencia Natural*. Alianza Editorial. Madrid.

HOFSTEIN, A.; LUNETTA, V. (2004) *The laboratory in science education: Foundations for the twenty first century*. Science Education 88, 25-54.

IZQUIERDO, M.; ESPINET, M.; GARCÍA M.; PUJOL, R.; SANMARTÍ, N. (1999) *Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar*. Enseñanza de las Ciencias, Número extra.

KIRSCHNER, P.; MEESTER, M. (1988) *The laboratory in higher Science Education: Problems, premises and objectives*. Higher Education 17, 99-119.

KLIMOVSKY, G.; BOIDO, G. (2007) *¿Tiene problemas filosóficos la ciencia?* Exactamente 12(36), 43.

MARTINEZ RIACHI, S. (2007) *Reflexiones sobre la enseñanza de la Química* Revista Química Viva, <http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/Suplemento%20educativo/foroedu.html>

LOPEZ ARRIAZU, F.; SOBA, A. (2007) *¿Cuál es la importancia de conocer la historia de la enseñanza de las ciencias naturales para la formación y práctica docente? En ¿Qué tienen de "naturales" las Ciencias Naturales?*, colección Las Ciencias Naturales y su Enseñanza, Editorial Biblos, Buenos Aires; en prensa.

NAKHLEH, M.; POLLES, J.; MALINA, E. (2002) *Learning Chemistry in a Laboratory Environment*. En Chemical Education: Towards Research-based Practice; Gilbert, J. K.; De Jong, O.; Justi, R.; Treagust, D. F.; Van Driel, J. H., editores; Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.

NÍAZ, M. (2008) *Teaching General Chemistry. A History and Philosophy of Science Approach*. Nova Science Publishers, New York.

PISCITELLI, A. (1995) *Ciencia en movimiento. La construcción social de los hechos científicos*. CEAL, Buenos Aires.

POZO, J.; GÓMEZ, M. (1998) *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Morata, Madrid.

SCHNEK, A. (2008) *¿Qué aporta la historia de las ciencias a la enseñanza de las ciencias naturales? En ¿Qué tienen de "naturales" las Ciencias Naturales?*, colección Las Ciencias Naturales y su Enseñanza, Editorial Biblos, Buenos Aires.

TALANQUER, V. (2006) *Commonsense Chemistry: A Model for Understanding Students' Alternative Conceptions*. Journal of Chemical Education 83(5), 811-816.

WOBBE DE VOS, A.; PILOT, A. (2002) *Chapter 5 in Chemical Education: Towards Research – bases Practice*. Gilbert, K. J.; De Jong, O.; Justi, R.; Treagust, D. F.; Van Drien, J.H., editores. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.

ZALTS, A. (2007) *Una opinión desde la enseñanza de la Química para no Químicos*. Revista Química Viva, <http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/Suplemento%20educativo/foroedu.html>