

Proyecciones

Volumen 6
Número 2
Octubre, 2008

Publicación de la Facultad Regional Buenos Aires

Director
Dr. Isaac Marcos Cohen

Comité Editorial
Lic. Gladys Esperanza, Facultad Regional Buenos Aires
Lic. Juan Miguel Languasco, Facultad Regional Buenos Aires
Dr. Isaac Marcos Cohen, Facultad Regional Buenos Aires

Colaboración Técnica
Ing. Marisa Arrondo

Diseño y Diagramación
Marcela Laura Ferritto, Facultad Regional Buenos Aires

Propietario
Facultad Regional Buenos Aires
Medrano 951 (C1179AAQ)
Buenos Aires, República Argentina

ISSN 1667-8400
Registro de la
Propiedad
Intelectual
No. 692929

 **Universidad Tecnológica Nacional**

Proyecciones

Volumen 6
Número 2
Octubre, 2008

Publicación de la Facultad Regional Buenos Aires

Proyecciones es una publicación semestral, destinada a la difusión de trabajos originados en las tesis desarrolladas en el ámbito de las carreras de posgrado que se dictan en la Facultad Regional Buenos Aires, así como de otros trabajos originales de investigación en el campo de la ingeniería, en todas sus ramas, de su enseñanza y de las ciencias conexas. Eventualmente son aceptadas también obras de revisión en temas específicos

La información contenida en los artículos, así como las opiniones y los juicios vertidos, reflejan la creación y el pensamiento de los autores y no constituyen toma de posición o expresión por parte del Comité Editorial o de la Facultad Regional Buenos Aires.

Se permite la reproducción total o parcial de los artículos publicados en Proyecciones, con expresa mención de la fuente y autorización de la Dirección.

INDICE

- 7 **Editorial**
- 9 **Presentación**
- 11 **La enseñanza de las ciencias y la formación del ingeniero**
Walter Legnani
- 17 **Alfabetización en el siglo XXI: Ciencia y Tecnología al alcance de todos**
Nora Sabelli
- 23 **Enseñanza de las Ciencias Naturales: un desafío a nivel mundial. El caso particular de enseñanza de la química**
Lydia R. Galagovsky
- 37 **La formación de docentes en Ciencias de la naturaleza para los nuevos tiempos**
Hugo R. Tricárico
- 51 **Obstáculos y dificultades que ocasionan algunos modelos y métodos de resolución de ecuaciones**
Raquel Abrate, Vicenç Font Moll y Marcel Pochulu
- 61 **Evaluación innovadora: una experiencia con estudiantes tecnológicos**
Carlos O. Pano
- 69 **De la Electrónica Industrial a la Mecatrónica: un cambio de paradigma en la enseñanza de la ingeniería**
Roberto Barneda

Editorial

Hace sólo seis meses, en ocasión de la presentación del número anterior de *Proyecciones*, hacíamos alusión a la creación del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva y a la firma del decreto 154/007, mediante el cual se declaró a este año 2008 como el “Año de Enseñanza de las Ciencias”, y comentábamos su trascendencia en estos términos: “Seguramente podremos advertir los efectos favorables de la primera de las medidas dentro de unos años; en cambio, el hecho de que el año que transcurre esté consagrado a la enseñanza de las ciencias tiene consecuencias inmediatas y nos compromete en la acción.”

Afirmaciones como la citada en el párrafo anterior quedan muchas veces confinadas en el ámbito de la reflexión o de las intenciones que no llegan a traducirse en hechos tangibles. En un pasado reciente, nuestro permanente empeño en convertir idea en realización se tradujo en la propia creación de *Proyecciones*; esta publicación, que nos enorgullece, es ahora uno de los medios que empleamos para hacer realidad el compromiso en la acción al que referíamos.

No se encontrará hoy la diversidad temática que siempre acompañó a *Proyecciones*, porque el tema único al que está dedicada es Enseñanza de las Ciencias. Conscientes de su importancia, hemos solicitado la colaboración de prestigiosos especialistas, quienes enriquecen con trabajos invitados esta edición. La conjunción entre este significativo aporte y el de las valiosas contribuciones que otros autores vuelcan en sus comunicaciones, hacen que sea éste número especial, que esperamos sea del agrado de nuestros lectores.

Luis Ángel De Marco
Decano

Presentación

Con la edición de este nuevo número de Proyecciones creemos estar sumando nuestro compromiso y participación al debate de carácter local, regional e internacional que tiene como foco la preocupación por la enseñanza de la ciencia. Sabemos que la formación de una ciudadanía democrática requiere de sujetos capaces de tomar decisiones en torno del bien común, para lo cual es preciso que posean información, pero también conocimiento en ciencias.

Los artículos que integran este número confluyen y se nuclean en torno de tres temas de crucial relevancia: por un lado, el modo de acercar desde temprana edad y en forma progresiva y constante a los niños y a los jóvenes al mundo de la ciencia y al quehacer científico adaptado a cada uno de los niveles del sistema educativo; por el otro, un conjunto de colaboraciones pone el énfasis en aspectos metodológico sustantivos que deberían ser tenidos en cuenta a nivel de estudios superiores. Finalmente, el eje Ciencia-Tecnología-Sociedad, abordado por varios autores, da cuenta de la necesidad de contemplar este enfoque en la formación de profesionales en ingeniería y sus disciplinas conexas.

Confiamos que esta edición especial de Proyecciones contribuya a construir una posición crítica y propositiva alrededor de la Enseñanza de las Ciencias.

Ing. Ricardo Bosco
Secretario Académico y de Planeamiento

La enseñanza de las ciencias y la formación del ingeniero

Walter Legnani

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires,
Avenida Medrano 951, C1179AAQ, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina
Universidad de Buenos Aires, Instituto de Cálculo, Ciudad Universitaria, Pabellón II, 2do. Piso,
Av. Intendente Cantilo s/n (1428) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina
e-mail: walter@cedi.frba.utn.edu.ar

Recibido el 8 de septiembre de 2008

Resumen

En la formación de los ingenieros que ejercerán la profesión en el siglo XXI la alfabetización científica es cada vez más significativa. En este trabajo, tras un breve análisis del estado de situación en el medio local, se plantean algunos conceptos que pueden contribuir con este objetivo en un futuro cercano.

Abstract

The scientific alphabetization in the formation of engineers that will practice the profession in the 21th century is more and more significant. After a short analysis of the current situation in the local medium, some concepts are delineated in this work, which can contribute with this objective in the next future.

En la primera mitad del siglo XX, la sociedad occidental en general depositaba una profunda confianza en el conocimiento científico y tecnológico, a tal punto que una gran parte le extendió un cheque en blanco, esperando a cambio que resolviera varios de sus mayores problemas (Legnani, 2007). Llegando a las décadas del 50 y del 60, esa visión fue mutando a una desconfianza que se acentuó a finales del mismo siglo.

A principios del siglo XXI coexisten en forma paralela la confianza y la desconfianza en el quehacer de la ciencia y la tecnología. En esto mucho tiene que ver el hecho de que grandes problemas que poseía la sociedad, y que habían generado enormes expectativas en la esperanza de solución proveniente del mundo científico tecnológico, no fueron resueltos; más aun, a causa del ciclo de desarrollo tecnológico de finales del siglo XX, se generaron nuevos y más preocupantes problemas.

Desafortunadamente, con todo lo que se ha avanzado en la época contemporánea el hombre no puede acabar con las grandes hambrunas; enfermedades que se suponía controladas no lo están y han surgido nuevos males, como el SIDA. El problema de la generación y el uso racional de la energía, la disponibilidad de agua potable para todos los habitantes del planeta y muchos de los desarrollos tecnológicos lamentablemente encuentran mayor difusión en aplicaciones militares que en la resolución de problemas de la vida cotidiana de los individuos.

¿Cómo se puede preparar a los ciudadanos para ser usuarios inteligentes y proactivos de los avances tecnológicos? La respuesta es la alfabetización en ciencia y tecnología.

De esta manera emerge la educación CTS (Ciencia, Tecnología y Sociedad) como una innovación del currículo (Acevedo, 1996, 1997), de carácter general, que proporciona a las propuestas de alfabetización en ciencia y tecnología (Science and Technology Literacy, STL) para todas las personas (Science and Technology for All, STA) una determinada visión centrada en la formación de actitudes, valores y normas de comportamiento respecto de la intervención de la ciencia y la tecnología en la sociedad (y viceversa) con el fin de que el ciudadano ejerza responsablemente su condición y pueda tomar decisiones razonadas y democráticas en la so-

ciudad civil (Acevedo y colaboradores. 2002 a,b).

Desde este punto de vista, CTS es una opción educativa transversal (Acevedo, 1996) que da prioridad, sobre todo, a los contenidos actitudinales (cognitivos, afectivos y valorativos) y axiológicos (valores y normas).

En el caso particular de enfrentarse con la formación en ciencia para ingenieros, primero se debe plantear claramente cuál es el perfil de estos profesionales. Claro está que además de su alfabetización científica general como ciudadanos se les debe brindar un conjunto de conocimientos que, articulados horizontalmente con los propios de la especialidad, enriquezcan su quehacer cotidiano.

En la oficina de un profesor era famoso un cartel con lo siguiente:

***"Engineers think theory approximates reality.
Physicists think reality approximates theory.
Mathematicians never make connection."***

Lo que a modo de broma este cartel expresa es que los ingenieros necesitan de un conocimiento científico que se acerque a la realidad, sin precisar qué significa la realidad misma.

Por otro lado, en este tiempo existen diferentes visiones del ejercicio profesional de un ingeniero. Tal vez esto se pueda comprender mejor cuando se analiza el origen del término ingeniería: si se acude a la raíz latina de la expresión se remite a ingenio, o sea a una labor más vinculada con la creación de tipo artístico o semejante a la de un inventor. Si por otro lado se analiza el desarrollo profesional en la primera mitad del siglo XX, éste se halla relacionado con el análisis sistemático, el desarrollo de técnicas y mecanismos y la medición de datos físicos, aplicando conocimientos matemáticos y principios tecnológicos de tal manera que conduzcan a la elaboración de dispositivos o procesos tangibles que puedan ser realizados, construidos o producidos. Finalmente se encuentra la visión más pobre del término, que concibe a la ingeniería como aquella profesión que diseña sistemas tecnológicos utilizando el conocimiento científico, pero sobre la base de un uso muy limitado del mismo.

¿Pero cuál es entonces la conceptualización aceptada mayoritariamente del ejercicio de la

profesión del ingeniero en los países más desarrollados?

La respuesta no es sencilla, dado que la tecnología con la que se desarrolla la vida cotidiana de los ingenieros no lo es, y considerando la increíble aceleración de los cambios que propone hacen de la misma una de las entidades con mayor evolución en la historia del hombre.

En tal sentido, se puede estimar que en el lapso en el cual se renueva una generación se pueden producir uno o más cambios tecnológicos radicales. Esta característica, que en algunos casos hace más agradable la existencia, pues se ven facilitadas actividades que eran impensables hace un siglo, conlleva a que un profesional de la tecnología, como lo es un ingeniero, deba estar preparado para no solo adaptarse a los cambios que se produzcan en su medio profesional, sino que adquiera además la habilidad de anticiparse a la evolución del paradigma tecnológico y, como lo hacen desde hace más de cuatro décadas en los países económicamente desarrollados, estén capacitados para ser ellos los que generen, diseñen y planifiquen dichos cambios.

En relación con este último aspecto, en una sólida formación en los campos disciplinares vinculados con la ciencia se halla la provisión de recursos para afrontar la complejidad de la dinámica de la evolución de la tecnología en la sociedad moderna.

En la mayoría de las Universidades en donde se forman ingenieros, la enseñanza de la ciencia se realiza sobre un esquema sostenido por tres pilares: clases teóricas, clases de resolución de problemas y prácticas de laboratorio. Este método de enseñanza se fundamenta más en la tradición que en un análisis crítico del mismo. Los profesores suelen enseñar empleando el mismo paradigma educativo en el que fueron formados.

Sobre la base de investigaciones realizadas por varios autores (Wieman y Perkins, 2005; Arons, 1990) este enfoque posee varias limitaciones. Pero el problema que se viene detectando desde hace varios años sobre la enseñanza de la ciencia no tiene sólo su génesis cuando los

alumnos llegan a la Universidad: en realidad la ciencia no tiene sólo su génesis cuando los alumnos llegan a la Universidad: en realidad hay que rastrear sus orígenes, pasando por la escuela secundaria hasta llegar a la escuela primaria. Es allí donde el rol formativo del individuo es relevante y donde una apreciación equivocada de lo que es la ciencia induce un preconceito que será extremadamente difícil de modificar en el nivel superior de educación.

Una de las características más apasionantes de la ciencia, que es la increíble capacidad de experimentar, autopreguntarse, cuestionar dogmas, indagar sobre lo que hay más allá de lo conocido y, por sobre todas las cosas, las formidables alas que brinda a la imaginación, pasan desapercibidas por la mayoría de los estudiantes. En cambio, ellos miran a la ciencia como un cuerpo de conocimientos cerrado, estático y dogmático, en donde con las recetas apropiadas se aprueban los exámenes, y con el agravante de que lo que allí se les intenta enseñar poco tendrá que ver con su desarrollo profesional futuro. Esta concepción está muy alejada de la realidad, tanto como que aparentaría estar en las antípodas.

De acuerdo con lo planteado por la Dra. Lydia Galagovsky (2008) el mejorar la enseñanza de la ciencia en la escuela es una preocupación a escala mundial.

El año 2008 ha sido instituido como el Año de la Enseñanza de las Ciencias en la Argentina, y, al respecto, una comisión de expertos nacionales ha realizado un trabajo compuesto por diez recomendaciones a través de un informe final requerido por el entonces Ministerio de Educación Ciencia y Tecnología de la Nación en el año 2007, y del cual existe un excelente resumen realizado por la Dra. Galagovsky (2008).

En dicho resumen los puntos están agrupados de a pares de la siguiente forma.

Los dos primeros puntos de dicho informe se refieren a la necesidad de fortalecer los Centros de Formación Docente, como así también de fomentar las carreras de formación de profesores dependientes de las universidades. Los puntos tercero y cuarto recomiendan la

¹ Informe y recomendaciones de la Comisión Nacional para el Mejoramiento de la Enseñanza de las Ciencias Naturales y la Matemática. "Mejorar la enseñanza de las ciencias y la matemática: una prioridad nacional". Autores: Rebeca Guber, Pablo Jacovkis, Diego Golombek, Alberto Kornblihtt, Patricia Sadovsky, Pedro Lamberti, Francisco Garcés, Alejandro Arvía y Julia Salinas. Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología, agosto de 2007

revisión y la actualización permanente de los contenidos y los métodos de enseñanza, de manera que el tratamiento de temáticas socialmente significativas y con validez científica resulte convocante para los alumnos y favorezca mejores aprendizajes. Dentro de esta propuesta se sugiere poner énfasis en el método experimental para la enseñanza de las disciplinas científicas, en todos los niveles.

Los puntos quinto y sexto se refieren a la necesidad de que las autoridades educativas generen iniciativas que aseguren la calidad de los libros de texto existentes en el sistema, y que además se promueva la integración del trabajo de las escuelas de todos los niveles y el quehacer de los científicos.

Las recomendaciones séptima y octava se centran en la necesidad de valorizar la enseñanza de las disciplinas científicas a través de acciones de difusión y la divulgación del conocimiento científico, y de motivar a través de iniciativas extracurriculares a los alumnos para que se aproximen al mundo científico

Finalmente, las recomendaciones novena y décima se refieren a la necesidad de prever recursos financieros en forma prioritaria, continua y sostenida en el tiempo. También, y para finalizar el análisis de los puntos de dicho informe, se recomienda diseñar indicadores que garanticen el cumplimiento de las metas y objetivos allí enunciados.

La Argentina cuenta con una masa crítica lo suficientemente estable de investigadores científicos preocupados por la enseñanza de las ciencias. Uno de los integrantes de este conjunto y con una intensa y permanente actividad, es el Dr. Salvador Gil, quien en su trabajo *Enseñanza de las ciencias, desafíos y oportunidades* (Gil, 2006) plantea algunos puntos destacables.

La estructuración de la enseñanza tradicional de las ciencias basada en clases teóricas, de problemas y laboratorio, se halla fuertemente criticada. Por un lado se han puesto en cuestión las clases teóricas magistrales, sobre la base del análisis de los resultados que se obtienen. En la mayoría de los casos las estadísticas muestran que tan solo un diez por ciento de los alumnos reciben los conceptos como es de esperarse y que el resto desaprovecha dichas clases en una forma preocupante.

Por otro lado, las clases de problemas son vistas como un apéndice de la asignatura; en muchos casos no hay coordinación horizontal entre la dinámica de la clase de teoría, la de problemas y la práctica de laboratorio. Por último, los alumnos tienen la percepción de que la clase de problemas les brindará los mecanismos necesarios para aprobar los exámenes.

Es más o menos generalizada la tendencia en muchos docentes que estiman que la sola exposición de un tema en clase, lo más claramente posible, es útil en forma automática para aclarar conceptos a los alumnos. Una actitud tal desconoce la complejidad del proceso de aprendizaje y la modificación de preconcepciones y valores en los estudiantes, que en la mayoría de los casos son de un valor enorme.

Sumado a lo anterior, estudios que se vienen realizando desde hace por lo menos una década y media, muestran que muchos estudiantes son capaces de resolver problemas cuantitativos sin tener una acabada comprensión conceptual de los tópicos subyacentes (Hammer, 1997).

Con esto, el método tradicional de enseñanza de la ciencia en carreras de ingeniería tiende a transformar a los estudiantes en "expertos" en el uso y la manipulación de fórmulas, alejados de los conceptos y con poca capacidad de cuestionarse sus saberes.

La distorsión llega al punto tal de pensar a la ciencia como un conjunto de información lograda por destacadas autoridades, disociada de su método y su apasionante dinámica.

Ante la visión atomizada de una ciencia básica en el formato tradicional ¿Qué puede hacerse, entonces? ¿De qué manera se consigue atraer, educar y mejorar la formación de los futuros ingenieros y desarrollistas tecnológicos? Y de una forma estrechamente vinculada ¿Cómo se podrá lograr mejor y creciente alfabetización científica en los estudiantes de Ingeniería?

Las respuestas requieren un profundo cambio de conceptualización de los equipos docentes en la práctica de la enseñanza de las ciencias básicas en la ingeniería. Para poder lograrlo es viable trabajar en varios, aspectos: uno macro, con recomendaciones más generales, y otro, a su vez subdividido en dimensiones, que contemple aspectos más específicos.

Desde un punto de vista macro es deseable:

- Fortalecer la formación continua de los docentes que tienen a su cargo la enseñanza de las ciencias básicas en ingeniería.
- Conformar equipos de investigación interdisciplinarios que logren volcar sus resultados con clara y fuerte transferencia a las carreras de grado y posgrado.
- Crear la mística de la investigación en el laboratorio de ciencias. Éste es un punto fundamental. Sólo con laboratorios de excelencia, en donde los alumnos interactúen cotidianamente con los científicos, se logra que los estudiantes se empapen de la vida científica.
- Establecer un sistema de presencia permanente de investigadores en las facultades de ingeniería, en donde a toda hora del día sea posible acudir a ellos para hacer consultas, compartir logros y formalizar proyectos. El contacto continuo de los estudiantes con los docentes investigadores posee un efecto multiplicador cuantioso.

Desde un punto de vista más específico se puede hablar de tres dimensiones a trabajar para mejorar la enseñanza de las ciencias en ingeniería:

- Dimensión conceptual
- Dimensión de procedimientos
- Dimensión afectiva

Desde la dimensión conceptual se puede postular:

- Incorporar literatura científica como obligatoria en la utilizada por las cátedras de las asignaturas de ciencias básicas.
- Priorizar los conceptos cardinales de las disciplinas científicas antes que el cálculo mecanicista y vacío de contenido.
- Utilizar solamente un vocabulario científico en las cátedras y los apuntes, realizando una selección muy cuidadosa de las fuentes de información de todo tipo, en especial las de material impreso.
- Fomentar el cuestionamiento permanente a medida que se enseña sobre un campo científico.
- Relacionar a la matemática y la ciencia mediante el concepto de modelado, destacando que la matemática es un lenguaje que permite formalizar las ideas.
- Profundizar en las limitaciones que la

tecnología posee hoy en día y mostrar a los estudiantes cómo la ciencia puede contribuir a solucionarlas.

- Mostrar a los estudiantes que la ciencia en la vida del ingeniero forma parte de su vida cotidiana.
- Resaltar en el dictado de las asignaturas de ciencias básicas la evolución del pensamiento científico a lo largo de la historia y sus contribuciones a la esfera tecnológica.
- Poner en evidencia ante los ojos de los estudiantes de forma rotunda la relación entre ciencia, tecnología y sociedad.

En referencia a la dimensión de procedimientos se puede mencionar:

- Desarrollar en los estudiantes la capacidad de aprender por sí mismos conceptos de ciencia.
- Estimularlos a que vean emerger a la ciencia en la vida de todos los días.
- Fomentar la aplicación de la ciencia para fines sociales lo más cercanos posibles a ellos.
- Desarrollar la capacidad de decodificar mensajes transmitidos en lenguaje científico para poder comprenderlos acabadamente; a su vez, que ellos mismos sean también capaces de codificarlos.
- Enseñar a los estudiantes a pensar en términos del razonamiento científico; esto incluye la capacidad de argumentar sus ideas, plantear sólidamente sus pensamientos y juzgar y validar resultados de sus trabajos.
- Estimular en los estudiantes la capacidad de tomar decisiones frente a controversias científicas con una consistente argumentación de su razonamiento.

Finalmente, en lo concerniente a la dimensión afectiva, ésta debería plantear:

- Lograr que los estudiantes de ingeniería desarrollen aprecio por el conocimiento científico y valoren sus contribuciones a su formación profesional
- Estimular a los estudiantes de ingeniería a fomentar su actualización constante en los temas fundamentales de su especialidad, tomando como dinámica a emular la del mundo de la ciencia, que evoluciona en forma permanente y continua.
- Fomentar la participación activa, y no como meros espectadores, en los progresos

científicos.

- Comprometerse como monitores que auditen los progresos científicos, cuidando sus impactos actuales y a futuro.

Para finalizar, se puede apreciar que lo que hoy en día reciben la mayoría de los estudiantes en lo que respecta a su formación en ciencias básicas es una imagen distorsionada y descolorida de la ciencia real, que poco aporta a su formación como ingenieros.

Se pueden encontrar numerosos esfuerzos por mejorar este presente, pero es necesario sincerar la evaluación de los resultados que se han obtenido, siendo en la mayoría de los casos hechos aislados con muy poca o ninguna articulación con la especialidad.

El compromiso no sólo debe ser asumido por el nivel superior, sino que debería ser acompañado por todas las instancias educativas, coronándose sí en la formación universitaria.

Sin un gran esfuerzo se pueden plantear un conjunto de estrategias que en el corto plazo lograrían revertir la situación. Ninguna de estas estrategias es tan compleja o tan elaborada como para que no se pueda poner en práctica; algunas de ellas son solo un cambio de actitud; otras pueden involucrar apuestas institucionales fuertes, pero a la hora de pensar lo que hay en juego no cabe duda que en la comunidad universitaria de que hay que dar un golpe de timón.

Referencias

- ACEVEDO, J. A. (1996) *Cambiando la práctica docente en la enseñanza de las ciencias a través de CTS*. Borrador 13, 26-30. En línea en Sala de Lecturas CTS+I de la OEI, <<http://www.campus-oei.org/salactsi/acevedo2.htm>> (consultada por última vez el 11-09-08).
- ACEVEDO, J. A. (1997) *Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS). Un enfoque innovador para la enseñanza de las ciencias*. Revista de Educación de la Universidad de Granada 10, 269-275.
- ACEVEDO, J. A.; MANASSERO, M. A.; VÁZQUEZ, A. (2002a) *Nuevos retos educativos: Hacia una orientación CTS de la alfabetización científica y tecnológica*. Pensamiento Educativo 30, 15-34.
- ACEVEDO, J. A.; VÁZQUEZ, A.; MANASSERO, M. A.; ACEVEDO, P. (2002b) *Actitudes y creencias CTS de los alumnos: su evaluación con el Cuestionario de Opiniones sobre Ciencia, Tecnología y Sociedad*. En línea en: Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación, 2, <<http://www.campus-oei.org/revistactsi/numero2/varios1.htm>> (consultada por última vez el 11-09-08).
- ARONS, B. (1990) *A Guide to Introductory Physics Teaching*. John Wiley, New York.
- GALAGOVSKY, L. (2008) *2008: el año de la enseñanza de las ciencias naturales en la Argentina..* Química Viva 7, No. 1, 49.
- GIL, S. (2006) *Enseñanza de las ciencias, desafíos y oportunidades*. Jornadas Pedagógicas de la Universidad Nacional de General San Martín.
- HAMMER, D. (1997) Cogn. Instr. 15, 485.
- LEGNANI, W. (2007) *Políticas científico-tecnológicas, ingeniería y sociedad*. Sociedad, Universidad e Ingeniería. Fernando Nápoli (Compilador) Editorial Centro de Estudiantes de Ingeniería Tecnológica, Facultad Regional Buenos Aires.
- WIEMAN, C.; PERKINS, K. (2005) *Transforming Physics Education* –Physics Today 58, 36.

¹ Una muy interesante discusión se puede hallar en Project 2061. Alfabetización científica para un futuro dinámico. Sitio de la Asociación Norteamericana para el avance de la ciencia. Herramientas conceptuales para mejorar el aprendizaje de las ciencias; <http://www.project2061.org/>.

Alfabetización en el Siglo XXI: Ciencia y Tecnología al alcance de todos

Nora Sabelli

Center for Technology and Learning, Policy Division, SRI International, Menlo Park, CA. Co-PI, LIFE (Learning in Formal and Informal Environments) NSF Science of Learning Center
e-mail: nora.sabelli@sri.com

Recibido el 28 de Julio de 2008

Resumen

El ritmo de cambio al que están sometidos los requerimientos laborales, dados los rápidos avances que tienen lugar en Ciencia y Tecnología, hace preciso que la educación se convierta en un proceso diferente. En las nuevas industrias basadas en la ciencia, el entrenamiento en procedimientos y tareas ya no es suficiente: los trabajadores deben aprender nuevas aplicaciones y entender la ciencia y la matemática subyacentes, para elaborar nuevos productos y ofrecer nuevos servicios. Consecuentemente, la alfabetización científica y tecnológica se ha tornado tan fundamental para la participación plena en la sociedad como el tradicional leer y escribir y la alfabetización aritmética.

El sistema corriente — particularmente para la educación en ciencia, matemática, ingeniería y tecnología — está mejor adaptado para educar bien a unos pocos científicos e ingenieros, más que para encontrar modos eficientes de educar a los ciudadanos a vivir y aprender en una era conducida por la tecnología. Aún cuando las nuevas aplicaciones tecnológicas en diferentes aspectos de la sociedad han mejorado su bienestar, ellas han creado muchas tensiones sobre el sistema educativo e incrementado el costo que asumimos al privar del derecho de acceder a una formación científica y tecnológica a una parte de la población.

Abstract

The pace at which the workplace is changing, given the rapid advances taking place in science and technology, requires that education become a different process. In the new science-based industries, procedural and job training is no longer sufficient: workers must learn new applications and understand the underlying science and mathematics, in order to produce new products and offer new services. Thus, scientific and technological literacy have become as fundamental for full participation in society as the traditional reading writing, and arithmetic literacy.

The current system — particularly for SMET (science, mathematics, engineering, and technology) education— is better adapted to educate well a few scientists and engineers, rather than to find efficient ways of educating all citizens to live and learn in a technology-driven era. While new technology applications in different aspects of society have improved well-being, they have created new stresses on the educational system, and increased the price we pay for a scientifically and technologically disenfranchised section of the population.

Desde hace algunos años, sobre todo en los países anglosajones y en los países del norte de Europa, la expresión alfabetización científica y tecnológica está de moda. Se trata de una metáfora que alude a la importancia que ha tenido la alfabetización a fines del siglo XIX; la expresión designa a un tipo de saberes, de capacidades o de competencias que, en nuestro mundo técnico-científico, corresponderá a la que fue la alfabetización en el siglo pasado.
(Fourez, 1997)

La importancia de la ciencia y la tecnología en el desarrollo civil y económico de las naciones es ya un lugar común, y, como lo dice Fourez en el párrafo citado, lleva consigo la necesidad de una alfabetización masiva que va más allá de aprender a leer y escribir. Así como las matemáticas básicas pasaron en el siglo XX a ser parte de la alfabetización necesaria para un país "moderno", la ciencia y la tecnología lo son para un país moderno en el siglo XXI. Tanto es así que, en matemáticas, se habla de aprender álgebra como un derecho civil, comparable a otros derechos inherentes de la ciudadanía, por ejemplo el voto (Moses y Cobb, 2001; Tate, 2001) y se están desarrollando pedagogías cuyo objetivo es permitir el acceso masivo y a la vez riguroso a matemáticas más avanzadas (Kaput, 1994).

Lo que no es común en los ámbitos educacionales, es considerar todas las implicaciones curriculares y pedagógicas del concepto de alfabetización científica y tecnológica. El concepto de alfabetización abarca la utilización del conocimiento en el transcurso de la vida cotidiana. Entonces, desde el punto de vista curricular, plantear una alfabetización científica para toda la población requiere considerar las siguientes preguntas: ¿Qué conocimientos científicos debe poseer todo ciudadano? ¿Cómo llevar a cabo un programa de enseñanza que los haga posibles? (Marshall y Tucker, 1992)

La primera pregunta nos lleva a reflexionar sobre la enseñanza por disciplinas que forma la base del currículo actual, cuando problemas concretos no se plantean como problemas de la física o de la química, o de ninguna otra disciplina en particular. Es más, muchos conceptos científicos de relevancia social no son considerados en el currículo hasta que los alumnos poseen las herramientas formales matemáticas

para comprenderlos—a veces recién en la educación terciaria—tornando difícil resaltar las grandes ideas generativas de la ciencia, que deberían formar parte de una real alfabetización científica. El estudio compartimentado en disciplinas se justifica en la preparación de futuros especialistas, pero se realiza en desmedro de otros enfoques que apuntan a la "alfabetización" científica de todos los ciudadanos, así como a una comprensión científica más amplia en los futuros especialistas profesionales.

El currículo existente está basado en una visión deductiva de la ciencia (*science in its final stage o ready-made science*; Latour, 1987) que enfatiza el saber como descripción de las teorías contemporáneas; teorías que son enseñadas como temas independientes entre sí y sin explicar y ejemplificar los pasos intermedios que llevaron a estas síntesis conceptuales.

Las nuevas pedagogías, en cambio, se basan en una concepción de la ciencia como *science-in-the-making*, que se alimenta de preguntas, experimentos, discusión y controversias. Diagnosticando problemas, criticando y planeando experimentos, distinguiendo conocimiento de conjeturas, en suma recreando muchas de las situaciones que enfrentan los investigadores profesionales, se presenta tanto a la tecnología como a la ciencia por lo que son, procesos creativos de resolución de problemas y comprensión de fenómenos, con teorías que evolucionan, se amplían y perfeccionan en cada generación. Esta aproximación a la ciencia no solo atrae el interés de los jóvenes, sino que también ayuda a entender las discusiones públicas sobre el rol del conocimiento científico en la resolución de problemas sociales (Bell, 2004).

Al proveer de herramientas para el análisis crítico, la valorización y la selección de los datos relevantes, la búsqueda de información y las estrategias para la toma de decisiones, no solo se ejemplifica la labor científica si no que se facilita que el estudiante, futuro ciudadano, adquiera una posición reflexiva frente a la publicidad, los medios masivos de información y las opiniones de los "especialistas".

Cabe reconocer que, si bien la pedagogía de una matemática accesible, "democratizada" está siendo estudiada (Roschelle y colabora

dores, 2000) lo mismo no puede decirse de *'la ciencia' en general*, aunque sí es claro que la separación del currículo en distintas ciencias no es suficiente para comprender las nuevas teorías y tecnologías, no se corresponde ya con las necesidades de los futuros profesionales ni tampoco favorece una educación científica para todos. Asimismo, es contraproducente utilizar las nuevas pedagogías con un currículo basado en temas aislados, ya que hacerlo no ayuda al que aprende a entender la relación científica entre temas. Es más, no es raro que el lenguaje utilizado para describir ideas y conceptos sea distinto en distintas disciplinas y por ende no conduzca a una alfabetización científica y tecnológica más general (Hurd, 1997). Por otro lado, avances curriculares del tipo de aprendizaje basado en problemas, *"problem-based learning"* (PBL) que dependen de tecnologías de precio razonable, permiten concebir un enfoque curricular participativo e interdisciplinario.

Un ejemplo útil es el de la secuencia de cursos de ciencia en la enseñanza secundaria en EE.UU.: Biología, Química, Física, basada en lo que eran las tres disciplinas hasta mediados del siglo pasado. Biología principalmente taxonómica y descriptiva, Química problemática para la mayoría de los estudiantes—por el amplio uso de explicaciones a nivel microscópico, Física poco y mal estudiada como fisico-matemática.

León Lederman, Premio Nobel de Física, ha dicho: "A concise summary of [the last 100 years of science] is that atoms and molecules are 85% of physics, 100% of chemistry and 90% of modern molecular biology." El currículo no corresponde más a la ciencia moderna. Lederman ha propuesto una alternativa, "Physics First" (Lederman, 1998 y 2002; Lederman y Bardeen, 1998) que invierte la secuencia: Física (principalmente desde un punto de vista atómico) Química, Biología. Esta secuencia ya se está utilizando, y sus posibles beneficios están siendo estudiados.²

¿Cuáles deberían ser las características de un currículo factible basado en la concepción de

concepción de "science in the making" y en el uso de pedagogías que parten de la solución de problemas reales?³ El currículo debería:

- centrarse en las ideas más importantes y generativas de la ciencia (energía, evolución de sistemas, etc.; AAAS, 1989 y 2001).
- ser coherente a través de los años de estudio, enfatizando las ideas centrales de la ciencia y su relación con la experiencia cotidiana.
- facilitar el acceso a las ideas más importantes y generativas de la ciencia por medio del uso de múltiples modalidades (lingüísticas, lógicas, visuales, kinestésicas, cognitivas, inductivas, deductivas, computacionales).
- relacionar varias ideas simultáneamente, en contextos reales y generativos, para que se refuercen entre sí, y creen eficiencias sistémicas al reducir el número de temas independientes a tratarse.
- utilizar tecnologías existentes que permiten a los estudiantes concentrarse en las ideas y no en los procesos formales, por ejemplo mediante el uso de modelos y simulaciones (Sabelli, 1994).
- reconocer que el cambio no se obtiene de inmediato, y requiere esfuerzos y recursos; planear cómo apoyar su desarrollo paulatino.

Dos ejemplos pueden bastar para ilustrar como un currículo con estas características puede llevar a una ciencia accesible a todos. A menudo, la dificultad en resolver un problema no es función del problema mismo sino de las herramientas que se usan en su solución. La tecnología de CAD (*Computer-aided Design*) ha transformado el diseño en ingeniería, aumentando las responsabilidades de los técnicos en diseño cuyas tareas solían requerir el trabajo de ingenieros. El uso de CAD podría permitir a estudiantes de escuelas medias explorar problemas de diseño e ingeniería, que llevan consigo la necesidad de aprender matemáticas, física y química, a más del desarrollo de competencias tecnológicas. Otro ejemplo fácil de implementar puede construirse en base a GIS (*geographic information systems*) combinada con la datos del entorno real, con la exploración de la química y la física de suelos, con el

¹ Como ejemplos personales, en cristales iónicos los químicos, centrados en el estudio de reacciones, consideran como base de partida para estudios teóricos los átomos de Ni y O, mientras los físicos, más centrados en sólidos, parten de los iones Ni²⁺ y O²⁻. Como una variable de interés es la carga real en los iones, la variable tiene signo diferente en física y en química. La diferencia de enfoque es aún más marcada en el estudio de resonancias moleculares.

² SAM: Science of Atoms and Molecules. Ver <http://sam.concord.org/>

³ Esta sección está basada en Kaput y Roschelle (1998).

el uso de mapas y cartografía en relación con ciencias de la tierra (earth sciences) como ser geografía, geología, ciencias de la atmósfera y otras áreas de interés corriente.

Un ejemplo más cercano al currículo existente lo provee la dinámica de sistemas, que son en el presente accesibles sólo a estudiantes avanzados. Estos conceptos, que ya son clásicos, no tuvieron auge hasta la aparición de computadoras que permiten cómputos iterativos en poco tiempo. Gran parte del conocimiento acerca de la dinámica de sistemas puede ser expresado gráficamente y puede naturalmente ligarse a problemas reales.

En resumen, la educación en ciencias enfocada en el beneficio de todos, no sólo es factible, promete además tener en cuenta las diferentes maneras de aprender de los estudiantes así como comprometerlos con el uso de la ciencia en la vida social, y ofrece la posibilidad de efectuar economías de escala racionalizando el currículo.

La democracia es más frágil de lo que muchos imaginan. La calidad de la democracia depende del compromiso de la ciudadanía. Si se buscan maneras de fomentar una mayor participación, es en los contextos científicos donde se han de encontrar los temas que realmente atraen a los jóvenes (Dearing, 2002).

Referencias

- AAAS (1989) *Science for all Americans*. Washington, DC, American Association for the Advancement of Science.
- AAAS (2001) *Atlas of Science Literacy*. Washington, DC, American Association for the Advancement of Science.
- BELL, P. (2004); LINN, M. C.; DAVIS, E. A.; BELL, P., Eds. (2004). *Internet Environments for Science Education*. Mahwah, N. J., Lawrence Erlbaum Associates. (<http://www.internetscienceeducation.org/>).
- DEARING, R. (2002) *Science and Citizenship Conference, Welcome Trust, February 2002*. (<http://www.welcome.ac.uk/node5930.html>).
- FOUREZ, G. (1997) *Alfabetización Científica y Tecnológica. Acerca de las finalidades de la enseñanza de las ciencias*. Ediciones Colihue, Buenos Aires.
- HURD, P. D. (1997) *Inventing Science Education for the New Millennium*. Teachers College Press, New York, NY.
- KAPUT, J. J. (1994) *Democratizing access to calculus: New roads to old roots*. En A. H. Schoenfeld (Ed.), *Mathematical thinking and problem solving* (pp. 77-156). Hillsdale, NJ: Erlbaum. Ballston, VA.
- KAPUT, J.; ROSCHELLE, J. (1998) *The mathematics of change and variation from a millennial perspective: New content, new context*. En C. Hoyles & C. Morgan & G. Woodhouse (Eds.), *Rethinking the mathematics curriculum*. Falmer Press, London.
- LATOUR, B. (1987) *Science in Action: How to Follow Scientists and Engineers through Society*. Cambridge, MA. Harvard University Press.
- LEDERMAN, L. (1998) *ARISE: American Renaissance in Science Education* (No. Fermilab-TM-2051). Batavia, IL. Fermi National Accelerator Laboratory.
- LEDERMAN, L. (2002) *Revolution in Science Education: Put Physics First*. *Physics Today* 55 (November).
- LEDERMAN, L.; BARDEEN, M. (1998) *Coherence In science education*. *Science*, 178.
- MARSHALL, R.; TUCKER, M. S. (1992) *Thinking for a Living: Education and the Wealth of Nations*. Basic Books.
- MOSES, R. P.; COBB, C. E. (2001) *Radical equations: Civil rights from Mississippi to the Algebra Project*. Boston: Beacon Press, The Algebra Project Home
Page:<http://www.algebra.org/index.html>.
- ROSCHELLE, J.; KAPUT, J.; STROUP, W. (2000) *SimCalc: Accelerating students' engagement with the mathematics of change*. En M. Jacobson & R. Kozma (Eds.), *Educational technology and mathematics and science for the 21st century* (pp. 47-75). Mahwah, N. J. Erlbaum.
- SABELLI, N. H. (1994) *On Using Technology for Understanding Science*. *Interactive Learning Environments* 4, 195-198.
- TATE, W. F. (2001) *Science Education as a Civil Right: Urban Schools and opportunity to learn considerations*. *Journal for Research in Science Teaching* 38, 1015-1028.

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 Arriaza 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".

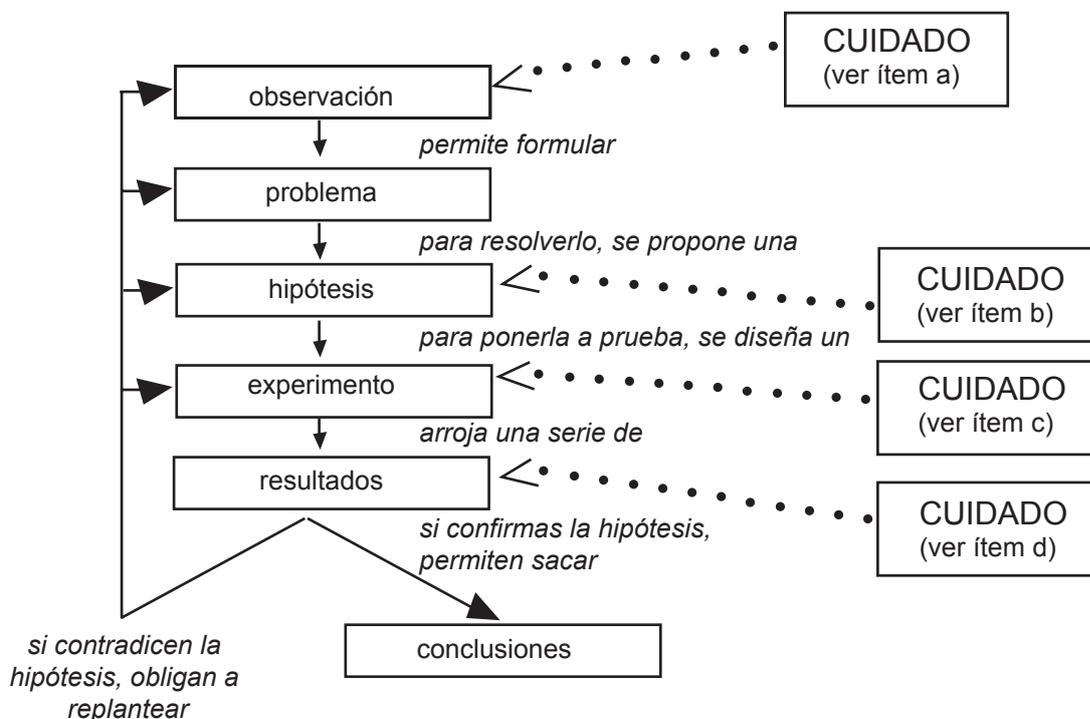


Figura 1. Cuestionamientos principales a la idea ingenua de "secuencia de pasos del método científico"

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: ¿obteno 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).

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.

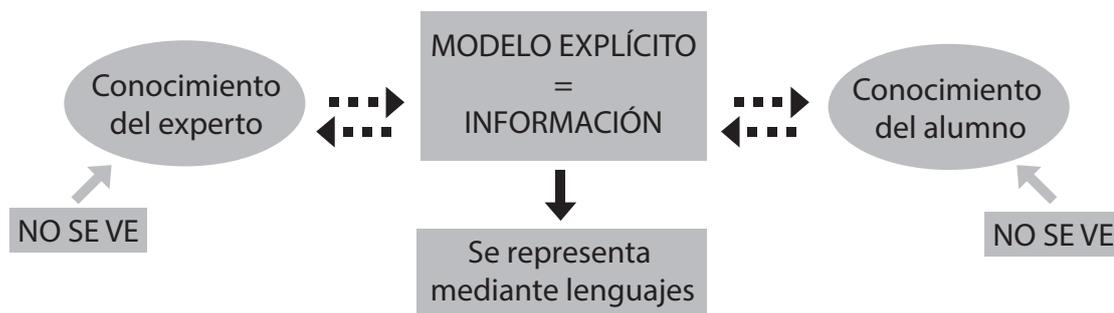


Figura 2. Una necesaria diferenciación entre información y conocimiento

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

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.

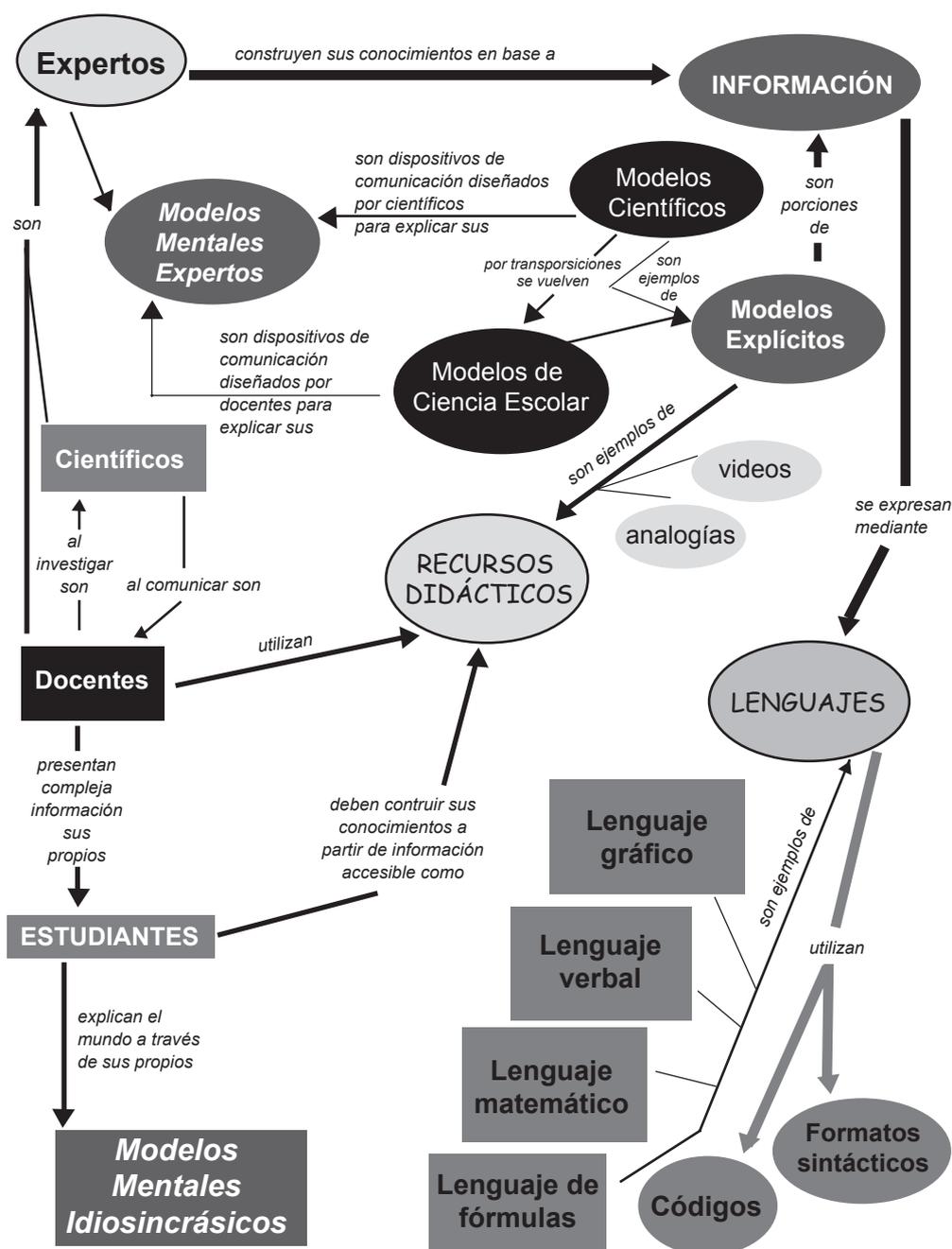


Figura 3. El papel de los lenguajes en la comunicación entre expertos y estudiantes

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

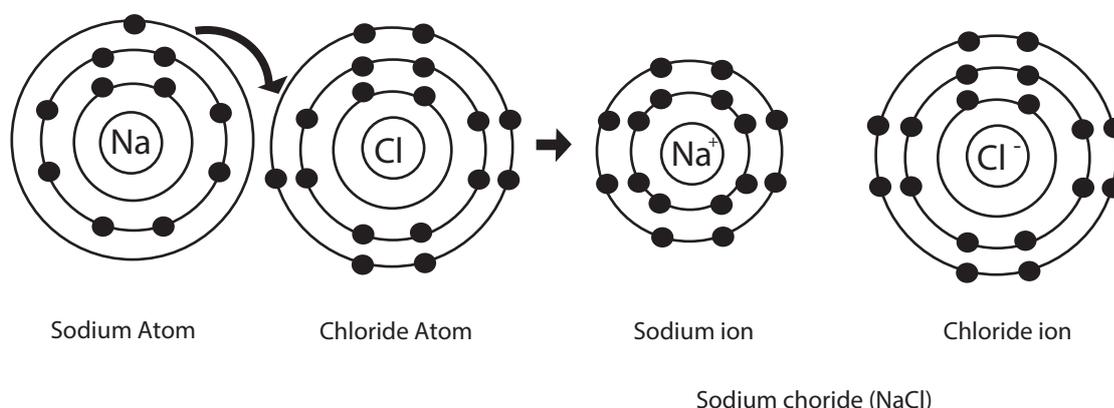


Figura 5. Representación gráfica que muestra el proceso de formación de la unión iónica de cloruro de sodio

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>

La formación de docentes en ciencias de la naturaleza para los nuevos tiempos

Hugo R. Tricárico

Universidad Nacional de General San Martín.
Campus Miguelete, 25 de mayo y Francia; San Martín, Provincia de Buenos Aires, Argentina.
e-mail: orcien@infovia.com.ar

Resumen

Los países iberoamericanos han vivido o están viviendo una transformación global del sistema educativo semejante a la que ha tenido lugar, o está teniendo lugar, en muchos otros países de nuestro entorno cultural, en respuesta, entre otras cuestiones, a las necesidades del desarrollo socioeconómico.

Nuestro propósito en este artículo es tomar en consideración las contribuciones de la investigación educativa para analizar la situación de esos procesos en nuestro país y fundamentar propuestas que permitan impulsar su necesaria mejora como elemento clave en la renovación indispensable en nuestro tiempo.

Nuestras aportaciones se centran en un dominio específico, el de la educación científica y tecnológica. Creemos, no obstante, que muchas de las cuestiones que vamos a debatir en torno a la formación permanente y continua de los profesores de ciencias afectan a los docentes de cualquier área. No hay, pues, un intento de fragmentar una problemática que entendemos debe abordarse en aspectos tales como los estructurales, los organizativos, etc., desde una perspectiva general, sino reconocer que nuestros análisis, propuestas y fundamentaciones se derivan de trabajos realizados en el campo de la Didáctica de las Ciencias de la Naturaleza.

Abstract

The Latin American countries have lived or are living a global transformation of the educational system similar to the transformation that has taken place, or is taking place, in other countries, as consequence, among other issues, of the socioeconomic development.

The purpose of this paper is to considerate the contributions of the educational research in order to analyze the situation of these processes in our country, as well as to found proposals that allow to promote its necessary improvement as primordial factor in the essential updating in these times.

Our contributions are focused in a specific domain: the scientific and technological education. However, we are persuaded that many of the matters that we shall debate in connection with the permanent and continuous training of the science teachers affect the teachers of any field. Thus, there is not an attempt to fragment a subject that should be dealt with, from a general perspective, in several aspects, such as the organizational or structural ones, etc, but to recognize that our analysis, proposals and foundations are derived from works performed in the field of Didactic of the Life Sciences.

"Indudablemente el factor más importante en todo plan educativo es el profesor. Con profesores malos o mediocres hasta el mejor programa fracasa necesariamente". (Félix Cernuschi, en "Cómo debe orientarse la enseñanza de las Ciencias". Editorial EUDEBA – 1961)

Introducción

En Argentina, y en el campo de la educación en ciencias, hace ya mucho tiempo hubo numerosos y variados intentos de mejoramiento. Quizá se pueda tomar como punto de partida con una estructura orgánica, lo ocurrido en la época en que el CONICET fue presidido por el Premio Nóbel Bernardo A. Houssay. Se creó en ese entonces el IMEC (Instituto para el Mejoramiento de la Enseñanza de las Ciencias) que dirigía el Profesor Ángel Hernáiz, para formular planes y realizar acciones tendientes a la innovación y al mejoramiento de la enseñanza de las ciencias en todos los niveles. Los mejores científicos del momento se acercaron y dieron su apoyo a la iniciativa. Mientras tanto en Córdoba, en su Universidad, se generaban acciones similares en el Instituto de Matemática, Astronomía y Física (IMAF) cuyo Director era el Doctor Alberto P. Maiztegui. El Doctor Félix Cernuschi, que citamos al principio, era uno de aquellos científicos. Él afirmaba en la obra de EUDEBA recordada: *"Un buen profesor debe sentir verdadera vocación por la materia que enseña: debe haber efectuado estudios especiales en ella. Debe conocer los métodos modernos de enseñanza en su materia. Mucho más importante que conocer a fondo la pedagogía general es tener un amplio conocimiento de lo que llamaríamos la pedagogía específica."* Este párrafo se nos ocurre un impresionante compendio de lo que hoy llamaríamos Didáctica Específica de las Ciencias.

Pero vayamos a la actualidad: los países iberoamericanos han vivido o están viviendo una transformación global del sistema educativo semejante a la que ha tenido lugar, o está teniendo lugar, en muchos otros países de nuestro entorno cultural en respuesta, entre otras cuestiones, a las necesidades del desarrollo socioeconómico.

Tras más de una década desde el inicio de reformas, pueden destacarse algunas particularidades como, por ejemplo, el intento de ampliación de los periodos de escolarización obligatoria o

una nueva concepción del currículum, más abierto, flexible y fundamentado (Coll 1989), acompañadas de dificultades que merecen análisis y rectificaciones fundamentadas. En esa perspectiva, nuestro trabajo se centra en un aspecto, la formación continua y permanente de los docentes de ciencias, considerada central en los procesos de reforma curricular (Anderson y Mitchener 1994; Mumby y Russell 1998; Maiztegui y colaboradores 2001.)

Nuestro propósito, más concretamente, es tomar en consideración las contribuciones de la investigación educativa para analizar la situación de esos procesos en nuestro país y fundamentar propuestas que permitan impulsar su necesaria mejora como elemento clave en la renovación indispensable en nuestro tiempo.

Nuestros aportes se centran en un dominio específico, el de la educación científica y tecnológica, que es el de nuestra formación y campo de trabajo. Somos conscientes, no obstante, que muchas de las cuestiones que vamos a debatir en torno a la formación permanente y continua de los profesores de ciencias afectan a los docentes de cualquier área. No hay, pues, un intento de fragmentar una problemática que entendemos debe abordarse en aspectos tales como los estructurales, los organizativos, etc., desde una perspectiva general, sino reconocer que nuestros análisis, propuestas y fundamentaciones se derivan de trabajos realizados en el campo de la Didáctica de las Ciencias de la Naturaleza, lo que se manifiesta, según esperamos, de las referencias bibliográficas. Estamos convencidos, sin embargo, que al analizar la formación de los docentes de otras áreas, pueden obtenerse conclusiones similares a las que aquí se muestran.

El porqué de las actuales reformas de los sistemas educativos

La tradicional importancia concedida a las inversiones en educación para hacer posible el desarrollo *futuro* de un país, ha dejado paso al convencimiento de que la formación general y, en su contexto, la alfabetización científica y tecnológica de todos los ciudadanos, ha pasado a constituir una exigencia *urgente*, un requisito para el desarrollo inmediato.

Así lo ha entendido, p. e., la Administración USA, que ha convertido el esfuerzo en educa-

ción en su primera prioridad, y así se afirma, desde la primera página, en los National Science Education Standards, auspiciados por el National Research Council (1996): "En un mundo repleto de productos de la indagación científica, la alfabetización científica se ha convertido en una necesidad para todos". No es extraño, por ello, que se haya llegado a establecer la analogía entre la alfabetización básica iniciada el siglo pasado y el actual movimiento de alfabetización científica y tecnológica (Fourez, 1997). Y en el caso de nuestro país, se sostiene posición similar en el informe "Mejorar la Enseñanza de las Ciencias y la Matemática: una Prioridad Nacional", elaborado por la Comisión Nacional para el Mejoramiento de la Enseñanza de las Ciencias Naturales y la Matemática, que trabajó en el ámbito del Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología, y que se ha dado a conocer en el año 2007.

Junto a esta creciente importancia concedida a la educación científica nos encontramos, sin embargo, con un grave fracaso escolar, acompañado de un creciente rechazo respecto de los estudios científicos y de actitudes negativas hacia la ciencia (Simpson y colaboradores, 1994; Giordan, 1997). Estos decepcionantes resultados, que afectan tanto a la enseñanza secundaria como a la universitaria -por no mencionar a la primaria (Merino, 1998)- se han convertido en un motivo de seria preocupación, que excede a explicaciones simplistas (por ejemplo, una supuesta "incapacidad" de la mayoría de los estudiantes para los estudios vinculados con las ciencias), sino que ponen en evidencia graves deficiencias de la enseñanza que vienen siendo señaladas desde hace tiempo (Yager y Penick, 1983; Porlán y Martín, 1994; Maiztegui y colaboradores, 2001; Informe citado-Ministerio de Educación 2007).

El reconocimiento de la importancia de la educación científica y las dificultades encontradas para su extensión a la generalidad de los futuros ciudadanos (Simpson y colaboradores, 1994; Giordan, 1997) ha impulsado la investigación en torno a la educación científica y tecnológica, que se ha convertido, según ha valorado la American Association for the Advancement of Science, en una de las áreas estratégicas de la investigación científica. De hecho, los logros de esta investigación en apenas dos décadas han sido realmente impresionantes, como evidencian, p. e., los dos Handbooks ya publicados

(Gabel, 1994; Fraser y Tobin, 1998). Como ha afirmado Hodson (1992) "Hoy ya es posible construir un cuerpo de conocimientos en el que se integren coherentemente los distintos aspectos relativos a la enseñanza de las ciencias". La comunidad de educadores en ciencias dispone, pues, de un cuerpo de conocimientos con el que pueden abordarse eficazmente los problemas que plantea el proceso de enseñanza y el de aprendizaje de las ciencias. Ahora bien, ¿en qué medida toda esta investigación ha sido aprovechada por los profesores y ha dado lugar a una mejor educación?

Hemos de reconocer que se comienza a detectar un sentimiento de frustración entre los investigadores, los diseñadores y los responsables de las reformas curriculares inspiradas en los hallazgos de la investigación y entre aquellos profesores que confiaban en dichas transformaciones para hacer frente a las crecientes dificultades de su tarea (GilGaviria y colaboradores, 1998; Moreira, 2004). Ello refuerza, además, el rechazo de quienes, por diversas razones, se han venido oponiendo a las reformas.

Es preciso señalar que esta decepción revela la persistencia de una visión bastante simplista de los cambios curriculares, que quizás muchos compartíamos: la idea de que bastaría presentar a los profesores las nuevas propuestas, fundamentadas en investigaciones rigurosas, para que dichas propuestas fueran aceptadas y aplicadas (Briscoe, 1991; Bell, 1998). La reciente investigación sobre formación de los profesores ha cuestionado ésta y otras optimistas (pero ingenuas) expectativas, obligando a replantear a fondo las estrategias de innovación curricular y de la formación docente.

Dificultades del cambio curricular y la formación de los docentes

Es interesante en este aspecto lo que afirma Inés Aguerrondo en "Por qué sobrevive la innovación y qué hace que funcione" (2006): "Una transformación de la educación.....debe superar el nivel del discurso y afectar todas las instancias organizativas del sistema escolar, modificando de este modo la estructura de la clase, de la institución escuela, de los estamentos intermedios y de la gestión central del sistema. Esto supone la necesidad de que, para lograr el objetivo de

una educación acorde con el Siglo XXI, estas redefiniciones y los cambios consecuentes deben verificarse en todas estas instancias, guardando coherencia entre ellos en los principios centrales que lo estructuran. Las innovaciones genuinas son cambios de este tipo que operan en alguna de las instancias de la educación (aula, escuela, etc.)."

La autora del trabajo citado afirma, lo que compartimos, que las características de los procesos genuinos de innovación y las posibilidades de que ellos sean sostenibles tienen que ver, hasta cierto punto, con la profundidad de los cambios realizados. Sigue Aguerro indicando que esta afirmación está basada en determinados factores:

Por una parte, *la redefinición del conocimiento*. Veremos más adelante cómo apareció este aspecto, de acuerdo con nuestra visión del tema.

Por otro lado, se cita otro factor: *la redefinición del alumno y del proceso de aprendizaje*.

Asimismo, la autora basa aquella afirmación en un nuevo aspecto: *la redefinición del profesor y del proceso de enseñanza*.

También indica la necesidad de analizar si se produjo una conveniente redefinición de la *propuesta didáctica*, lo que estudiaremos en su oportunidad.

Por último, Aguerro cita la posibilidad de tomar en cuenta *la redefinición de la organización para la enseñanza y el aprendizaje*.

De todas maneras, estimamos que para comprender las dificultades de los procesos de reforma, en lo que se refiere a la apropiación por los profesores de las nuevas propuestas curriculares y orientaciones educativas, es preciso remitirse a los aportes de la investigación en este campo.

Una de las críticas fundamentales que se ha hecho a los procesos de renovación curricular ha sido la escasa atención prestada, hasta prácticamente los años 90, al papel jugado por los docentes en dicho proceso. Ello podría explicar, como sostienen Anderson y Mitchener (1994), la escasa efectividad de los esfuerzos de renovación curricular que se han venido realizando durante las últimas décadas.

Podemos referirnos, a ese respecto, a la repetida constatación de marcadas diferencias entre lo perseguido por los diseñadores de currículos y lo que realmente los profesores llevan a la práctica (Cronin-Jones 1991; Maiztegui y colaboradores, 2001; Maiztegui y colaboradores, 2002; Gil Pérez y colaboradores, 2003; Aguerro, 2006). Han sido estas diferencias las que han llamado la atención sobre la influencia que los profesores ejercen en el proceso de implementación curricular y sobre la necesidad de un mejor conocimiento de dicho proceso. Porque no se trata simplemente de elaborar cuidadosamente los nuevos materiales y de organizar cursos para difundir las nuevas propuestas. Ambas cosas se han hecho en el caso de las reformas de los noventa, dando lugar a una abundante literatura, ampliamente difundida, y a un gran número de cursos, por los que han pasado miles de profesores, con resultados que muchos han considerado decepcionantes.

Nos apresuramos a señalar que esta decepción no se ha producido únicamente en Argentina o en los países de nuestra área. Como ya señalaba Briscoe (1991), refiriéndose a la experiencia norteamericana, cada año son muchos los profesores que participan en seminarios o asisten a cursos con la intención de perfeccionarse profesionalmente y que, cuando reanudan sus clases, están dispuestos a utilizar las nuevas técnicas, los nuevos materiales curriculares, las nuevas formas de favorecer la creatividad y el aprendizaje de sus alumnos. Sin embargo, muchos de estos docentes se encuentran, antes de que puedan darse cuenta, enseñando de la misma forma como lo habían hecho siempre, adaptando los nuevos materiales o técnicas a los patrones tradicionales. Se genera así una lógica frustración y decepción al percibir que las cosas no han funcionado mejor que en los años precedentes, a pesar de las nuevas y prometedoras ideas.

¿Cuáles pueden ser los motivos de esta falta general de efectividad? De forma muy sucinta, nos referiremos a tres causas señaladas por los investigadores (Maiztegui, y colaboradores 2000):

- ***Las serias limitaciones de los esfuerzos de innovación puntuales***

La falta de efectividad que ha afectado a la

generalidad de los actuales procesos de renovación no es necesariamente debida a que las innovaciones contempladas carezcan de interés, sino que pone en evidencia que un modelo de enseñanza es algo más que un conjunto de elementos yuxtapuestos e intercambiables: constituye una estructura dotada de una cierta coherencia y cada uno de sus elementos viene apoyado por los restantes (Viento, 1989; Gil, 1991; Gil y colaboradores, 1999). Se ha empezado así a comprender que los esfuerzos de innovación en la enseñanza de las ciencias realizados estas últimas décadas pierden gran parte de su capacidad transformadora si quedan en contribuciones puntuales, desligadas, como las que se contemplan, a menudo, en los llamados cursos de "perfeccionamiento" docente. Así, por ejemplo, los investigadores han llamado la atención sobre la necesidad de acompañar las innovaciones curriculares con cambios similares en la evaluación (Linn 1987). Si la evaluación sigue consistiendo en ejercicios para constatar el grado de retención de algunos conocimientos "conceptuales", éste será para los alumnos el verdadero objetivo del aprendizaje y poco importarán las innovaciones introducidas o los objetivos enunciados.

Señalemos, a este respecto, que buena parte de los cursos de formación continua para docentes en servicio han incurrido en ese defecto de los tratamientos puntuales; pero es cierto, también, que se han hecho muchos esfuerzos para ofrecer programas de formación más globales, que han intentado recoger las principales aportaciones de la investigación educativa. Dichos cursos han producido resultados de indudable interés, pero han resultado insuficientes, en términos generales, para lograr la incorporación de los profesores a las nuevas orientaciones (Jiménez-Aleixandre y Sanmartí, 1995). Ello nos remite a la segunda causa, señalada en la literatura, del fracaso de muchos esfuerzos de renovación curricular.

• ***La incidencia de las concepciones del profesorado***

Como ha mostrado, entre otros, Cronin-Jones (1991), los diseñadores de currículos no suelen tener en cuenta la fuerte influencia de las concepciones de los profesores en el proceso de implementación curricular. Dicho en forma positiva, para emprender un replanteamiento

global de la enseñanza de las ciencias se precisa cuestionar concepciones cuya importancia en la actividad docente puede ser tan o más relevante que las preconcepciones de los alumnos en el aprendizaje de las ciencias (Hewson y Hewson 1987).

En efecto, comienza hoy a comprenderse que los profesores tenemos ideas, actitudes y comportamientos sobre la enseñanza debidos a una larga formación "ambiental" (en particular, durante el periodo en que fuimos alumnos) que responden a experiencias reiteradas y se adquieren de forma no reflexiva, como algo natural, obvio, "de sentido común", escapando así a la crítica y ejerciendo una notable incidencia sobre nuestra labor docente (Gil, 1991; Gil y colaboradores, 1991; González, 1999).

De hecho, el estudio de las "preconcepciones docentes" se ha convertido en una línea de investigación prioritaria, tanto en el campo de la enseñanza de las ciencias (Hewson y Hewson, 1987; Porlán, 1989 y 1993; Gil y colaboradores, 1991; Bell y Pearson, 1992; Désauteles y colaboradores, 1993; Guilbert y Meloche, 1993; Hodson, 1993; Mellado, 1998; Fernández, 2000) como en el de la educación en general. Pero aunque la consideración funcional de las ideas de los docentes constituye un requisito esencial para incorporar a los profesores al proceso de renovación curricular (Bell, 1998), no es suficiente para lograrlo, debido, como ha mostrado la investigación, a una tercera causa del fracaso de las reformas educativas:

• ***La escasa efectividad al transmitir a los docentes las propuestas de los expertos para su aplicación***

Como se ha indicado, es necesario que los profesores participemos en la construcción de los nuevos conocimientos educativos, abordando los problemas que la enseñanza nos plantea (Briscoe, 1991; Moreira, 2004) Sin esa participación, no sólo resulta difícil que los profesores hagamos nuestros y llevemos eficazmente adelante los cambios curriculares, sino que cabe esperar una actitud de rechazo o de malestar que se apoya en problemas organizativos, de gestión, a veces sindicales, o en ciertas preconcepciones docentes, como el temor al "descenso del nivel" que puede suponer la prolongación de la escolaridad obligatoria para nuevos sectores de la población. El resultado

se traduce en un clima de resistencia (explícita o implícita) a las innovaciones.

Efectivamente, a menudo los docentes nos enfrentamos con un sistema de presiones (Garrett, 1998) excesivas y contradictorias. Para citar un ejemplo, recordemos las demandas permanentes de perfeccionamiento y mejora de la calidad, en condiciones laborales e institucionales lamentables. Muchos docentes se sienten agredidos por una falta de reconocimiento y por cierta culpabilización social por sus carencias (Sánchez Jiménez, 1988), que son, en buena medida, el fruto de la formación que han recibido. Es quizás por eso que muchos de estos docentes se cierran ante las propuestas de reforma.

No se trata, sin embargo, de plegarse acríticamente a ese malestar, por más fundado que esté en algunos casos. Las propuestas de reformas responden a demandas culturales y políticas de gran importancia que las sociedades no pueden dejar de abordar sin riesgo de quedar al margen del proceso de cambios en marcha. Las dificultades que presenta esta expansión educativa y, muy concretamente, las desigualdades sociales, no deben ser un freno para la misma sino, al contrario, un motivo más para impulsarla (Pozo y colaboradores, 1998).

En tal sentido, un requisito indispensable para el éxito de las transformaciones es, repetimos, favorecer el protagonismo efectivo de los docentes; ninguna reforma tendrá éxito, siquiera parcialmente, si es vista como algo impuesto, externo a la comunidad educativa que debe desarrollarla: es necesario contar con "la voluntad de cambiar" del docente (Ryan, 1998; Moreira, 2004; Aguerrondo, 2006). Muchas de las quejas o rechazos de los docentes, por encima de los legítimos reclamos salariales e institucionales, provienen del sentimiento que produce no haber sido tenidos suficientemente en cuenta en el diseño del proceso.

Los resultados de la investigación apuntan también a la necesidad de que los planes de incorporación de los profesores a los cambios curriculares vayan más allá de su participación en algún curso, aunque se trate de un curso extenso y adecuadamente diseñado. En efecto, aunque estos cursos son necesarios para lograr un cuestionamiento *inicial* de las prácticas habituales (es decir, de "lo que siempre se ha

hecho"), convertir en connatural la práctica de las nuevas orientaciones exige un trabajo continuado para el que cada profesor ha de contar con el seguimiento y el apoyo necesarios (Carnicer, 1998).

Eso es lo que ocurre en cualquier actividad con una mínima aspiración científica, y sólo la idea simplista –tan extendida socialmente– de que enseñar es algo esencialmente fácil, "para lo que basta poseer los conocimientos científicos y algo de experiencia", permite esperar que los cambios curriculares puedan lograrse con la elaboración de unos buenos materiales y la ayuda de algunos cursos para su difusión.

El problema, es preciso reconocerlo, es mucho más complejo y son necesarias acciones que incorporen a los docentes en tareas prolongadas de innovación e investigación (Gil Pérez y Pessoa de Carvalho, 2000). Ello es algo que supera, sin duda, a lo realizado en el marco de reformas como las nuestras y ésta puede ser una razón de sus insuficiencias. Pero quisiéramos insistir en algo que nos parece fundamental: las reformas iniciadas en nuestros países, más allá de sus limitaciones y defectos, pueden convertirse en auténtica ocasión de progreso si dejan de contemplarse como acciones aisladas y puntuales, más o menos extensas pero cerradas, y pasan a ser consideradas como etapas de un proceso colectivo y global que, apoyándose en los resultados obtenidos y en los hallazgos de la investigación e innovación, precisará retoques y remodelaciones que exigen el compromiso –debidamente apoyado– de los docentes en el análisis de los problemas y en la elaboración y ensayo de propuestas alternativas.

¿Qué formación docente inicial se precisa?

La necesidad de asociar las innovaciones educativas a una correcta formación docente aparece, según hemos visto, como la primera lección a extraer de las dificultades aparecidas en los procesos de reforma curricular. Podría pensarse que ello constituye un lugar común que, aparentemente, ha sido siempre tenido en cuenta. Así, como señalan Anderson y Mitchener (1994), en su revisión de la investigación acerca de la formación de los docentes de ciencias –publicada en el *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* (Gabel, 1994)–, "En la pasada década, cuando los promotores

de la reforma educativa voceaban sus llamamientos en pro de la mejora de la educación científica, habitualmente señalaban a la formación docente como el necesario punto de partida para la corrección y los cambios. Como resultado, la retórica acerca de la renovación de la formación docente ha ido creciendo en intensidad". Y Anderson y Mitchener se preguntan: "¿Qué clase de pensamiento y comprensión de la formación docente de ciencias ha producido tan abundante retórica? (...) Lamentablemente, mucho de lo dicho se ha basado en simples opiniones y creencias y se ha oído poco acerca de los resultados de investigaciones rigurosas en el campo de la enseñanza de las ciencias y de la formación docente de ciencias".

No basta, pues, con afirmar la importancia de la formación docente en los procesos de reforma. Para muchos, ello significa simplemente insistir en la preparación científica habitual, añadiendo unos cursos de Educación desligados de los contenidos científicos. Esta separación de los contenidos científicos y educativos se ha mostrado, sin embargo, muy poco eficaz. Como señala McDermott (1990): "El uso efectivo de una estrategia de enseñanza viene a menudo determinado por el contenido. Si los métodos de enseñanza no son estudiados en el contexto en el que han de ser implementados, los profesores pueden no saber identificar los aspectos esenciales ni adaptar las estrategias instruccionales -que les han sido presentadas en términos abstractos- a su materia específica o a nuevas situaciones". McDermott concluye, en consecuencia, con un rechazo de esta suma de formación científica y preparación docente independientes entre sí. Una crítica semejante ha sido realizada por numerosos autores (Pessoa, 1988; Furió y Gil, 1989; Villani y Pacca, 1992; Salinas y Cudmani, 1994; Viento, 1997). Se hace necesario, pues, salir al paso de orientaciones como éstas, que han mostrado ya sus limitaciones, pero que se siguen utilizando para la capacitación de los profesores de secundaria y de los mismos profesores encargados de la formación inicial de los docentes.

Feiman-Nemser (1990) ha intentado categorizar las distintas orientaciones sobre formación docente, con objeto de facilitar su análisis crítico y la toma de decisiones al respecto. Dichas orientaciones responden, en opinión de este autor, por una parte, a una cierta visión de los procesos de enseñanza y de aprendizaje y,

por otra, a una concepción de cómo se aprende a enseñar. Distingue, así, cinco orientaciones básicas:

- La orientación *académica*, centrada en la adquisición de los conocimientos científicos a impartir.
- La orientación *práctica*, que presta atención a las destrezas de enseñanza y resalta la importancia de la experiencia en el aula como fuente principal de formación.
- La orientación *tecnológica*, cuyo objetivo fundamental es preparar profesores que puedan desarrollar las tareas de la docencia con eficacia, teniendo en cuenta los principios y las prácticas que se derivan de un estudio científico de la enseñanza.
- La orientación *personal*, que concibe la formación docente, y todo acto de aprendizaje, como un proceso de aprender a comprender, acrecentar y utilizar el propio desarrollo personal.
- La orientación *crítica*, que concibe al educador como alguien que trabaja para vencer las desigualdades sociales, promover los valores democráticos en el aula y potenciar en los estudiantes el tratamiento grupal de problemas de interés.

Naturalmente, Feiman-Nemser caracteriza con mucho más detalle y fundamentación estas distintas orientaciones y se refiere, además, a los desarrollos experimentados por cada una de ellas. Así, p. e., menciona la revitalización de la orientación académica que tuvo lugar a partir de los trabajos de Shulman (1987) quien, de forma autocrítica, reconoce que los pedagogos parecen haber estudiado todos los factores que influyen en el acto educativo, a excepción del contenido a enseñar.

No podemos detenernos aquí en analizar los aportes y las carencias de estas orientaciones y nos limitaremos a señalar que, en nuestra opinión, cada una de ellas resalta algunos aspectos básicos para la formación docente. ¿Cómo ignorar, p. e., la importancia de un buen conocimiento de la materia a impartir? La investigación ha mostrado que la falta de dicho conocimiento constituye, quizás, la principal dificultad para que los profesores afectados se impliquen en actividades innovadoras (Tobin y Espinet, 1989; Gil y colaboradores, 1994). Pero, además, conocer la materia no se reduce a conocer los hechos, las leyes y las teorías que conforman el

cuerpo de conocimientos científicos que suele impartirse en una facultad (Salinas, 1999). Un buen conocimiento de la materia para un docente supone también, entre otros factores (Gil, 1991):

- Conocer los problemas que originaron la construcción de dichos conocimientos y cómo llegaron a articularse en cuerpos coherentes, evitando así visiones estáticas y dogmáticas que deforman la naturaleza del conocimiento científico. Se trata, en definitiva, de conocer la historia de las ciencias, no sólo como un aspecto básico de la cultura científica general, sino, primordialmente, como una forma de asociar los conocimientos científicos con los problemas que originaron su construcción, sin lo cual dichos conocimientos aparecen como construcciones arbitrarias. Se puede así, además, conocer cuáles fueron las dificultades, los obstáculos epistemológicos que hubo que superar, lo que constituye una ayuda imprescindible para comprender las dificultades de los estudiantes.
- Conocer las estrategias empleadas en la construcción de los conocimientos, es decir, conocer la forma en que los científicos se plantean y tratan los problemas, las características más notables de su actividad, los criterios de validación y aceptación de las teorías científicas.
- Conocer las interacciones Ciencia, Tecnología y Sociedad asociadas a la construcción de conocimientos, sin ignorar el carácter a menudo conflictivo del papel social de las ciencias y la necesidad de la toma de decisiones.
- Tener algún conocimiento de los desarrollos científicos recientes y sus perspectivas, para poder transmitir una visión dinámica, no cerrada, de la ciencia.
- Adquirir conocimientos de otras disciplinas relacionadas, para poder abordar problemas "puente", las interacciones entre distintos campos y los procesos de unificación.

Por otra parte, como ha señalado Viennot (1997), esta preparación científica no puede contraponerse a la preparación "pedagógica", sino que es preciso superar dicha dicotomía y reconocer la necesaria imbricación entre la reflexión educativa y la reflexión sobre el contenido disciplinar. No hay ninguna justificación, en definitiva, para desvalorizar ese contenido disciplinar, calificándolo de "academicista". Por el contrario, lo que debe denunciarse son aque-

llas visiones que reducen el conocimiento científico a formalismos abstractos, aproblemáticos y ahistóricos, atribuyéndole un carácter exclusivamente analítico, desligado de las implicaciones sociales, etc., etc. (Gil, 1993; Salinas y colaboradores, 1995; Fernández, 2000).

De una forma similar a como hemos hecho con la importancia del conocimiento de la materia, se puede poner en valor cada uno de los aspectos incluidos en las orientaciones a las que se refiere Feinman-Nemser. No se trata, pues, de elegir entre las mismas. Lo esencial, pensamos, es romper con cualquier visión simplista de la actividad docente a la hora de establecer las necesidades formativas de los profesores y la orientación a dar a dicha formación.

Por nuestra parte, centrándonos en nuestra área, hemos intentado establecer, a la luz de las aportaciones de la investigación educativa, cuáles son esas necesidades formativas de los profesores de ciencias (Gil, 1991; Pessoa y Gil, 1995; Cudmani y colaboradores, 1998; Maiztegui y colaboradores, 2002). No podemos detenernos aquí en la consideración de dichas necesidades, que van desde un conocimiento *profundo* de la materia, a saber diseñar programas de actividades y todo lo que supone dirigir la actividad de los estudiantes. Tan sólo resaltaremos el papel esencial que juegan en dicha formación el conocimiento y el análisis crítico del pensamiento docente espontáneo y la familiarización con el cuerpo de conocimientos teóricos que la investigación educativa ofrece hoy en torno a los problemas que plantea el proceso de enseñanza/aprendizaje de las ciencias.

Resulta esencial, en particular, salir al paso de visiones conductistas que contemplan cada "saber" o "saber hacer" como algo que puede adquirirse con un entrenamiento puntual, específico (Gimeno, 1990), proporcionado desde fuera por los expertos, e insistir en el papel central que en el proceso de adquisición de los conocimientos -y, en definitiva, en toda la actividad docente- ha de jugar la actividad innovadora e investigadora de los profesores, es decir, su participación en la construcción de dichos conocimientos. Ello constituye, pensamos, el verdadero núcleo de una preparación docente adecuada -en el área de las ciencias o en cualquier otro campo- en particular con vistas a su incorporación a las reformas educativas.

Cabe pronunciarse, por todo ello, contra la idea de profesor de área, introducida en reformas como la argentina de los 90, si por tal entendemos que un profesor ha de poder dar una pluralidad de materias (física, química, biología...) en las que es imposible adquirir una formación suficiente (Ver, a este respecto, Solbes y Hernández, 1995 y los debates recogidos en las revistas *Infancia y Aprendizaje*, Nº 65, de 1994, e *Investigación en la Escuela*, Nº 32, de 1997). Sin embargo, es necesario también evitar transmitir una visión de las disciplinas como compartimentos estancos, por lo que cabe reconocer el interés y la posibilidad de un trabajo común de los profesores de Biología, de Física, de Química... para que cada cual pueda enseñar mejor sus propias materias y hacer posible el tratamiento de los problemas puente (Gil, 1994; Tricárico, 1997).

En el plano de la formación "inicial" de los docentes de ciencias, coincidimos plenamente con lo indicado en el Capítulo de Recomendaciones del Informe (que ya citamos) "Mejorar la Enseñanza de las Ciencias y la Matemática: una Prioridad Nacional" (2007). Allí se sugiere sugiere "...fortalecer los Institutos de Formación Docente (IFD) y las carreras de formación de profesores dependientes de las universidades.....que permitan mejorar la enseñanza de las ciencias naturales y la matemática".

No nos corresponde entrar aquí a especificar las medidas adecuadas (en el citado Informe se detallan Acciones Sugeridas) para lograr esta transformación; esa cuestión depende, sin duda, de razones complejas que las autoridades habrán de atender y resolver. Sí debemos insistir en que dicha transformación, para la que se requiere sin duda modificar algunas normativas y crear las condiciones materiales necesarias, constituye a todos los efectos un requisito imprescindible para una correcta preparación de los futuros docentes, que ha de ser concebida –como hemos intentado fundamentar– en íntima conexión con los aportes de la investigación e innovación en las didácticas específicas de cada disciplina.

Éstas son algunas ideas básicas, pensamos, para orientar la formación inicial de los profesores de ciencias. No basta, sin embargo, con la reforma de la formación inicial, sino que se

precisa vincular la renovación curricular a un proceso de formación continuada. Abordaremos esta cuestión en el próximo apartado.

Estrategias para la innovación educativa y la formación docente continua

De acuerdo con los resultados proporcionados por la investigación en torno a ese indisoluble binomio que constituye el cambio curricular y la formación docente continua, la estrategia que parece potencialmente más fructífera consistiría en *implicar a los profesores en tareas de investigación/innovación para dar respuesta a los problemas de enseñanza y de aprendizaje de las ciencias que les plantea su actividad docente.*

En este proceso debieran intervenir equipos docentes, instituciones formadoras, Universidades, asociaciones de profesores, etc., para que, en un proceso continuo y permanente, los docentes logren competencias que les permitan manejarse con éxito en su tarea profesional (Tricárico, 1996). Cuando nos referimos a estas competencias no nos estamos limitando a los saberes disciplinares y pedagógicos solamente, sino que estamos imaginando la apropiación de otros saberes asociados a la interpretación y la ponderación de los problemas de la realidad, al análisis y el conocimiento contextual, al control y la evaluación de resultados, etc. Los docentes trabajan con situaciones específicas en las que no pueden aplicarse "recetas": justamente, por pretender hacerlo, muchas veces se fracasa en la labor. Por ello entendemos que en instancias de formación continuada y permanente será necesario facilitar la reconstrucción de los saberes disponibles en los distintos campos del conocimiento para tender a lograr autonomía y creatividad.

En el Informe, ya citado, "Mejorar la Enseñanza de las Ciencias y la Matemática: una Prioridad Nacional" (2007), se hace notar que hay una gran diferencia entre lo que se indica en los diseños curriculares y lo que luego los docentes desarrollan en su práctica. *"El problema no se resuelve, por otra parte, proporcionando a los docentes instrucciones más detalladas, a través de manuales o cursos ad-hoc. Se hace necesaria una profunda revisión de la formación (inicial y continua) de los docentes, extendiendo a la misma las adquisiciones de la investigación educativa..... Dicha formación*

supone trabajar interrelacionadamente sobre la dimensión disciplinar, la técnico-pedagógica y la institucional”.

No se trata, claro está, de que cada profesor o grupo de profesores tenga que construir aisladamente, por sí mismo, todos los conocimientos elaborados por la comunidad científica, sino de proporcionarle la ayuda necesaria para que participe en la reconstrucción/apropiación de dichos conocimientos. Esta propuesta formativa puede describirse, más bien, con la metáfora de “los investigadores noveles” que, como es bien conocido, son capaces de realizar notables progresos en la medida en que investigan e innovan contando con el apoyo de expertos, es decir, de investigadores que conocen bien la problemática que han de abordar los “noveles” y que pueden darles la retroalimentación adecuada (sin recurrir a una inefectiva transmisión de los conocimientos, sino, al contrario, permitiéndoles replicar trabajos cuyos resultados, en buena medida, ya conocen los expertos).

Esta orientación de la formación docente exige contar con un número creciente de profesores capaces de favorecer la implicación de otros colegas en el tratamiento de los problemas que los procesos de enseñanza y de aprendizaje de las ciencias plantean, es decir, capaces de dirigir la actividad de grupos de “investigadores noveles”, al tiempo que ellos mismos siguen afianzando su formación y enriqueciendo su bagaje científico como miembros de una comunidad de investigadores/innovadores en didáctica de las ciencias, en la que se apoyan y a cuyo cuerpo de conocimientos contribuyen a su vez.

Más precisamente, dicha estrategia habría de poseer, entre otras, las siguientes características:

A) Ser concebida en íntima conexión con la propia práctica docente, como tratamiento de los problemas que dicha práctica plantea.

B) Favorecer la vivencia de propuestas innovadoras y la reflexión crítica explícita, cuestionando el pensamiento y comportamiento docente “espontáneos”, es decir, cuestionando el carácter “natural” de “lo que siempre se ha hecho”.

C) Aproximar a los profesores a la investigación e innovación en torno a los problemas de enseñanza y de aprendizaje de las ciencias y, de este modo,

D) Facilitar su familiarización con el cuerpo de conocimientos específico de Didáctica de las Ciencias de la Naturaleza elaborado por la comunidad científica en este campo.

Esta estrategia de *formación colectiva* continua constituye, hemos de reconocer, un desideratum difícil de implementar. Lo ideal sería que existiera ya una tradición de trabajo docente colectivo, con equipos capaces de incorporar a las nuevas generaciones y de facilitarles, a través del trabajo común, la formación necesaria (como ocurre en cualquier tarea con aspiración científica). Creemos que hoy están comenzando a consolidarse tales equipos y que no pueden improvisarse ni constituirse “por decreto”, cuando falta la tradición del trabajo científico (Porlán, 1998). Por otra parte, las condiciones laborales vigentes de los docentes no tienen en cuenta esta necesidad de trabajo colectivo como parte esencial de su tarea: los horarios lectivos recargados, p. e., constituyen una muy seria dificultad. Por ello, el establecimiento de una estructura plenamente efectiva de formación docente continuada ha de contemplarse como un objetivo a largo plazo (lo que no significa, ni mucho menos, posponer las acciones necesarias para lograrlo). Y por la misma razón no puede esperarse, a corto plazo, la plena efectividad de unas reformas educativas, cuya necesidad nadie discute hoy.

Es preciso ser conscientes de ello, pero también es preciso tener claro cuál es el objetivo y plantear las acciones hoy posibles en esa perspectiva de creación de equipos integrados en la comunidad de investigadores e innovadores en didáctica de las ciencias.

Una cuestión clave, pues, es ver qué se puede hacer hoy y cómo optimizar los recursos disponibles para avanzar en la perspectiva correcta. En ese sentido son posibles muchas acciones, siempre que se planteen, insistimos, en una perspectiva de implicación de los profesores en el tratamiento de los problemas de enseñanza y de aprendizaje de las ciencias relacionados con su actividad docente.

Para concluir, sería conveniente insistir en que cualquier proceso de capacitación de calidad requiere de unos contextos apropiados: la tarea docente no consiste exclusivamente en estar ante los estudiantes. Es imprescindible facilitar el tiempo y las condiciones materiales para realizar actividades de capacitación, generar

condiciones económicas favorables, proveer materiales de apoyo, facilitar la colaboración de los profesores con las instituciones de formación universitarias, etc. (Oñorbe y colaboradores, 1999)

Todo ello conlleva un cambio en la concepción social de la enseñanza (Gil y colaboradores,

1998; Pozo y colaboradores, 1998) y nuevos modelos de carrera docente, que permitan recuperar y acreditar las experiencias por las que atraviesa un docente, comenzar a superar la fragmentación existente ente la formación inicial y los sucesivos "circuitos" de capacitación y dotar de coherencia e integración a los saberes adquiridos (Pesa y Cudmani, 1998).

Referencias

- AGUERRONDO, I., (2006) *Por qué sobrevive la innovación y que hace que funcione*. En "Emerging models of learning and innovation; the Mexican experience. OECD – OCDE . México.
- ANDERSON, R. D.; MITCHENER C. P. (1994) *Research on science teacher education*. En GABEL D. L. (Ed). Handbook of Research on Science Teaching Education. Macmillan Pub. Co., New York.
- BELL B. (1998) *Teacher development in science education*. En FRASER B. J. y TOBIN K. (Eds). International Handbook of Science Education. Kluber, Dordrecht.
- BELL B.; PEARSON J. (1992) *Better Learning*. *International Journal of Science Education* 14(3), 349- 361.
- BRISCOE C. (1991) *The dynamic interactions among beliefs, role metaphors and teaching practices*. A case study of teacher change. *Science Education* 75(2), 185-199.
- CARNICER J. (1998) *El cambio didáctico en el profesorado de ciencias mediante tutorías en equipos cooperativos*. Tesis Doctoral. Universidad de Valencia.
- CERNUSCHI, F. (1961). *Cómo debe orientarse la enseñanza de las ciencias*. EUDEBA, Buenos Aires.
- COLL, C. (1989) *Psicología y curriculum. Siglo Veintiuno, Madrid*
- CRONIN-JONES L. L. (1991) *Science teaching beliefs and their influence on curriculum implementation: two case studies*. *Journal of Research in Science Teaching* 38(3), 235-250.
- CUDMANI, L.; FIGUEROA, A.; PESA, M.; SALINAS, J. (1998) *La integración de investigación educativa y práctica docente en el diseño curricular de un Magíster en Enseñanza de la Física*. *Educación en Ciencias* 2(5), 49-54.
- DÉSAUTELS, J.; LAROCHELLE, M. ; GAGNÉ, B. ; RUEL, F. (1993) *La formation à l'enseignement des sciences: le virage épistémologique*. *Didaskalia* 1, 49-67.
- FEINMAN-NEMSER, S. (1990) *Teacher preparation: Structural and conceptual alternatives*. En HOUSTON W. R. (Ed). Handbook of research on teacher education. Macmillan, New York.
- FERNÁNDEZ, I. (2000) *Análisis de las concepciones docentes sobre la actividad científica: Una propuesta de transformación*. Tesis Doctoral. Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Universidad de Valencia.
- FOUREZ, G. (1997) *Alfabetización científica y tecnológica*. Acerca de las finalidades de la enseñanza de las ciencias. Colihue, Buenos Aires.
- FRASER, B.; TOBIN, K. G. (Eds) (1998) *International Handbook of Science Education*. Kluber Academic Publishers, London.
- FURIÓ, C.; GIL, D. (1989) *La didáctica de las ciencias en la formación inicial: una orientación y un programa teóricamente fundamentado*. *Enseñanza de las ciencias* 7(3), 257-265.
- GABEL, D. L (Ed) (1994) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. MacMillan Pub Co, New York.
- GARRETT, R. (1998) *Reflexiones sobre la formación docente continua*. En Sánchez Jiménez, J. M., (Ed). *Educación Científica*, 33-45. Servicio de publicaciones de la Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares.
- GIL, D. (1991) *¿Qué han de saber y saber hacer los profesores de ciencias?*. *Enseñanza de las Ciencias* 9(1), 69-77.
- GIL, D.; PESSOA, A.; M.; FORTUNY, J.; AZCARATE, C. (1994) *Formación del Profesorado de las Ciencias y la Matemática: Tendencias y Experiencias Innovadoras*. Editorial Popular, Madrid.
- GIL, D. (1993) *Contribución de la Historia y Filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación*. *Enseñanza de las Ciencias* 11(2), 197-212.

- GIL, D. (1994) *El currículo de ciencias en la educación secundaria obligatoria: ¿área o disciplinas? ¡Ni lo uno ni lo otro sino todo lo contrario!* Infancia y Aprendizaje 65, 19-30.
- GIL, D.; CARRASCOSA, J.; FURIO, C.; MTNEZ-TORREGROSA, J. (1991) *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Horsori, Barcelona.
- GIL, D.; FURIÓ, C.; GAVIDIA, V. (1988) *El profesorado y la reforma educativa en España*. Investigación en la escuela 36, 49-64.
- GIL, D.; FURIÓ, C.; VALDÉS, P.; SALINAS, J.; MARTÍNEZ, J.; GUIASOLA, J.; GONZÁLEZ, E.; DUMAS, A.; GOFFARD, M.; PESSOA, A. (1999) *¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio?* Enseñanza de las Ciencias 17(2), 311-320.
- GIL PÉREZ, D.; PESSOA DE CARRVALHO, A. M. (2000) *Dificultades para la incorporación a la enseñanza de los hallazgos de la investigación e innovación en didáctica de las ciencias*. Educación Química 11(2), 244-251.
- GIL PEREZ, D., y colaboradores 2003; *La educación científica y la situación del mundo: un programa de actividades para profesores de ciencias*. Educación y Ciencia 9, No.1- Sao Paulo, Brasil.
- GIMENO, J. (1990) *El perfeccionamiento como desarrollo de la profesionalidad docente*. En GIL D., La formación de formadores en didáctica de las ciencias. Nau Llibres, Valencia.
- GIORDAN, A. (1997) *¿Las ciencias y las técnicas en la cultura de los años 2000?*, Kikirikí 44-45, 33-34.
- GONZÁLEZ, E. (1999) *Para una práctica docente transformadora*. Divulgación Científica, Secretaría de Ciencia y Tecnología, Escuela de Ciencias de la Información, Universidad Nacional de Córdoba 2(3), 6-7, nov. de 1998.
- GUILBERT, L. ; MELOCHE, D. (1993) *L'idée de science chez des enseignants en formation: un lien entre l'histoire des sciences et l'hétérogénéité des visions*. Didaskalia 2, 7-30.
- HEWSON, P. W.; HEWSON, M. G. (1987) *Science teachers' conceptions of teaching: implications for teachers education*. International Journal of Science Education 9(4), 425-440.
- HODSON, D. (1992) *In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education*. International Journal of Science Education 14(5), 541-566.
- HODSON, D. (1993) *Philosophic stance of secondary school science teachers, curriculum experiences, and children's understanding of science: some preliminary findings*. Interchange 24(1&2), 41-52.
- JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P.; SANMARTÍ, N. (1995) *The development of a new science curriculum for secondary school in Spain: opportunities for change*. International Journal of Science Education 17(4), 425-439.
- LINN, M. C. (1987) *Establishing a research base for science education: challenges, trends and recommendations*. Journal of Research in Science Teaching 24 (3), 191-216.
- MAIZTEGUI, A. (1997) *La formación de docentes*. Publicación de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba; Córdoba, Argentina.
- MAIZTEGUI A., GONZALEZ E., TRICARICO H., SALINAS J., PESSOA A.; GIL PEREZ D., (2000), *La formación de los profesores de ciencias en Argentina*. Un replanteamiento necesario. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba, Argentina.
- MAIZTEGUI, A. P; GIL PÉREZ, D. G.; GONZÁLEZ, E.; SALINAS, J.; TRICÁRICO, H. R. (2001) *La formación de los docentes en Ciencias en Iberoamérica*. Revista Iberoamericana de la OEI, No. 24.
- MAIZTEGUI y colaboradores, 2002. *Papel de la tecnología en la educación científica: una dimensión olvidada*, Revista Iberoamericana de Educación, No.28 – OEI- Madrid, España.
- McDERMOTT, L. C. (1990) *A perspective on teacher preparation in physics - other sciences: the need for special science courses for teachers*. American Journal of Physics 58(8), 734-742.
- MELLADO, V. (1998) *The classroom practice of pre-service teachers and their conceptions of teaching and learning science*. Science Education 82, 197-214.
- MERINO, G. (1998) *Algunas reflexiones acerca de la educación científica de escolares en el tramo final obligatorio de la Educación General Básica*. En Sánchez JIMÉNEZ, J. M., (Ed). *Educación Científica*, 161-166. Servicio de publicaciones de la Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares.
- MOREIRA, M. A. (2003) *La Investigación Básica en Educación en Ciencias: una Visión Personal*. Revista Chilena de Educación Científica 3(1) 10-17.

- MUMBY, H. ; RUSSELL, T. (1998) *Epistemology and context in research on learning to teach science*. En FRASER, B. J. y TOBIN, K. G. (Eds). International Handbook of Science Education. Kluber, Dordrecht.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996) *National Science Education Standards*. National Academy Press, Washington, DC.
- OÑORBE, A.; DAVIS, E.; MESTRE, U.; FAVIERES, A.; LUTFI, M. (1998) *La Formación docente permanente de ciencias experimentales*. En Sánchez Jiménez, J. M., (Ed). Educación científica, 217-221. Servicio de publicaciones de la Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares. PESA, M.; CUDMANI, L. (1998) *La integración de saberes en la formación de formadores en ciencias*. En Sánchez Jiménez, J. M., (Ed). Educación Científica, 55-70. Servicio de publicaciones de la Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares.
- PESSOA, A. (1988) *A pesquisa na prática de ensino, em Pessoa A.* (Ed). A formação do professor e a prática de ensino. Livraria Pioneira Editora, São Paulo.
- PESSOA DE CARVALHO, A.; GIL, D. (1995) *Formação de Professores de Ciências*. Tendências e inovações. Cortez Editora, São Paulo.
- PORLÁN, R. (1989). *Teoría del conocimiento, teoría de la enseñanza y desarrollo profesional: las concepciones epistemológicas de los profesores*. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla.
- PORLÁN, R. (1993) *Constructivismo y Escuela. Hacia un modelo de enseñanza - aprendizaje basado en la investigación*. DIADA, Sevilla.
- PORLÁN, R.; MARTÍN, R. (1994) *El saber práctico de los profesores especialistas*. Aportaciones desde las didácticas específicas. Investigación en la Escuela 24, 49-59.
- PORLÁN, R. (1998) *Pasado, presente y futuro de la didáctica de las ciencias*. Enseñanza de las Ciencias 16(1), 175-185.
- POZO, J. I.; SCHEUER, N.; PÉREZ ECHEVERRÍA, M. P.; MATEOS, M. (1998). *El cambio de las concepciones de los profesores sobre el aprendizaje*. En Sánchez Jiménez J. M., (Ed). Educación científica, 29-53. Servicio de publicaciones de la Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares.
- RYAN, C. H. (1998) *Tendencias en las nuevas propuestas curriculares en ciencias experimentales: hacia una nueva base para la investigación y el cambio curricular*. En Sánchez Jiménez, J. M., (Ed). Educación Científica, 155-157. Servicio de publicaciones de la Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares.
- SALINAS, J. (1999) *¿Enseñamos la física como una ciencia de la naturaleza?* Memorias de la Décimo Primera Reunión Nacional de Educación en la Física, REF XI, Mendoza, P. 358-365.
- SALINAS, J.; CUDMANI, L. (1994) *Los desencuentros entre método y contenido científico en la formación de los profesores de Física*. Revista de Enseñanza de la Física 7(1), 25-32.
- SALINAS, J.; CUDMANI, L.; JAÉN, M. (1995) *Las concepciones epistemológicas de los docentes en la enseñanza de las ciencias fácticas*. Revista Brasileira de Ensino de Física 17(1), 55-61.
- SÁNCHEZ JIMÉNEZ, J. M. (1998) *Programa de Formación de Profesores de Ciencias*. En Sánchez Jiménez, J. M., (Ed). Formación permanente de profesores de ciencias experimentales. Servicio de publicaciones de la Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares.
- SIMPSON, R. D. y colaboradores, (1994) *Research on the affective dimension of science learning*. En Gabel D. L. (Ed), Handbook of Research on Science Teaching and Learning. (MacMillan Pub Co, New York.
- SHULMAN, L. S. (1987) *Knowledge and teaching: foundations of new reform*. Harvard Educational Review 57, 1-22.
- SOLBES, J.; HERNÁNDEZ, J. (1995) *El papel de las ciencias en la enseñanza Secundaria: un análisis de cuatro años de experimentación*. Enseñanza de las Ciencias 13(2), 257-260.
- TOBIN, K.; ESPINET, M. (1989) *Impediments to change: applications of coaching in high school science teaching*. Journal of Research in Science Teaching 26 (2), 105-120.
- TRICÁRICO, H. R. (1996) *Algunas reflexiones sobre el contenido y la temática en la formación continuada y permanente del profesorado de Ciencias*. En García Sípido M. J., y Plaza, E. (Eds), La formación continuada del profesorado de ciencias en Iberoamérica. OEI-Ministerio de Educación y Cultura, Madrid.
- TRICARICO, H. R. (1997) *Formación Continua y Permanente: Reflexiones acerca de la Formación Continua y Permanente de los Docentes de Ciencia*. Revista Educación en Ciencias, 1(1) .Universidad Nacional de General San Martín, Argentina.

- TRIVIÑO, M. S. (1998) *Un modelo operativo de evaluación de calidad en un contexto de acreditación*. En Sánchez Jiménez, J. M., (Ed). Educación Científica, 81-128
- VIENNOT, L. (1989) *L'enseignement des sciences physiques objet de recherche*. Bulletin de l'Union des Physiciens 716, 899-910.
- VIENNOT, L. (1997) Former en didactique, former sur le contenu? Principes d'élaboration et éléments d'évaluation d'une formation en didactique de la physique en deuxième année d'IUFM. Didaskalia 10, 75-96.
- VILLANI, A. ; PACCA, J. (1992) *Atualização de Professores de Física no Brasil: ¿Por Quê? ¿Como? ¿Quando? ¿Para Quem?* Actas de la Quinta Reunión Latino-Americana sobre Educación en Física, V RELAEF, Porto Alegre, Brasil, p. 75-93.
- YAGER, R. E.; PENICK, J. E. (1983) Analysis of the current problems with school science in the USA. European Journal of Science Education 5, 463-459.

Obstáculos y dificultades que ocasionan algunos modelos y métodos de resolución de ecuaciones

Raquel Abrate (*), Vicenç Font Moll (), Marcel Pochulu (*)**

(*) Universidad Nacional de Villa María
Arturo Jauretche 1550 – 5900 Villa María, Provincia de Córdoba, Argentina
e-mail: mpochulu@arnet.com.ar
(**) Universitat de Barcelona
Gran Via de les Corts Catalanes 585 – 08007 Barcelona – España

Resumen

El trabajo examina algunos de los modelos y métodos de resolución de ecuaciones que emplean los alumnos y textos escolares de Matemática, analizando las implicancias didácticas que tienen los mismos, en cuanto a obstáculos y dificultades que producen en los aprendizajes de los estudiantes. Para ello, se trabajó con las producciones escritas de 429 estudiantes, aspirantes a ingresar en la Universidad Nacional de Villa María (Argentina) durante el año 2007, mientras cursaban el Módulo de Matemática del Curso de Ingreso, y con 60 libros de Matemática que abordan la resolución de ecuaciones como tema de estudio.

PALABRAS CLAVE: MÉTODOS DE RESOLUCIÓN DE ECUACIONES, METÁFORAS EN EL DISCURSO, RESOLUCIÓN DE ECUACIONES, DIFICULTADES EN MATEMÁTICA

Abstract

This research work examines some of the models and methods of resolution of equations that both pupils and Mathematics school texts use, analysing the didactic implications they have, regarding to obstacles and difficulties that are produced in students' learning. For this purpose, 429 students' written productions were analysed when they entered National University of Villa Maria (Argentina), during the year 2007, while they were taking up the level course module on Mathematics. Besides, 60 books of Mathematics that approach the resolution of equations as a topic of study were used.

KEYWORDS: METHODS OF RESOLUTION OF EQUATIONS, METAPHORS IN THE SPEECH, RESOLUTION OF EQUATIONS, DIFFICULTIES IN MATHEMATICS

Introducción

A pesar de la importancia que tienen las ecuaciones dentro del currículo, por diversas razones los alumnos no suelen contar con muchos recursos para resolverlas. La experiencia nos muestra que cuando los alumnos "creen" conocer todas las técnicas básicas, terminan utilizándolas indiscriminadamente sin analizar que por otros métodos el problema hubiese resultado más fácil y menos laborioso en su resolución. En este sentido, diversos estudios (Kieran, 1992; Rivero, 2000; Pochulu, 2005a, 2005b; Abrate y colaboradores, 2006; Abrate y colaboradores, 2007a, 2007b, entre otros) muestran que los estudiantes no están logrando una formación matemática adecuada en Álgebra.

Por ejemplo, en Abrate y colaboradores (2006), que trabajaron con alumnos ingresantes a la Universidad, se hace notar el hecho de que la resolución de ecuaciones desencadena una gran cantidad de errores que se reflejan en las producciones escritas. Las dificultades que estos autores encuentran se insertan dentro de los problemas generales de enseñanza y aprendizaje del Álgebra, en la escuela secundaria, y también han sido reportadas por Filloy y Rojano (1985a, 1985b, 1989), Filloy (1987), Kieran (1981), Hercovics, (1980a, 1980b), Hercovics y Lincherski (1994), Pochulu (2005a, 2005b), entre otros.

Asimismo, en otros trabajos de los presentes autores (Abrate y colaboradores, 2007a, 2007b) se argumenta que el uso de algunos modelos de resolución de ecuaciones no resulta inocuo para el aprendizaje de los estudiantes, en tanto conlleva a dificultades que no logran superar y conducen a la aparición sistemática de errores.

Se torna evidente, entonces, que la falta de un modelo didáctico que sirva de referente adecuado para la resolución de ecuaciones, obstaculiza el proceso de desarrollo de las competencias y las habilidades a lograr en esta área. Esta situación viene a complementarse, por otro lado, con el hecho de que los profesores de Matemática no siempre son conscientes de los obstáculos y las dificultades que generan los modelos y métodos utilizados en contextos de resolución de ecuaciones. En consecuencia, los interrogantes que guían la investigación que llevamos a cabo son:

a) ¿Cuáles son los modelos y los métodos de

resolución de ecuaciones que frecuentemente utilizan los alumnos?

b) ¿Qué obstáculos y dificultades producen estos modelos y métodos de resolución de ecuaciones sobre los alumnos?

c) ¿Qué modelos y métodos de resolución de ecuaciones utilizan los libros de Matemática cuando abordan estos temas?

Marco teórico

En este trabajo suponemos que el lenguaje que empleamos es fundamentalmente metafórico, y de acuerdo con Lakoff y Núñez (2000), una metáfora se puede interpretar como la comprensión de un dominio en términos de otro. En este sentido, las metáforas se caracterizan por crear una relación conceptual entre un dominio de partida y un dominio de llegada que deja proyectar propiedades e inferencias del dominio de partida en el de llegada. En otras palabras, crean un cierto "isomorfismo" que permite que se trasladen una serie de características y estructuras de un dominio a otro.

Ahora bien, las metáforas sólo dejan ver un aspecto del dominio de llegada que no engloba su totalidad, sirven para mostrar el aspecto que deseamos evidenciar y ocultan otros aspectos, de los cuales muchas veces ni siquiera somos conscientes. Otra de las funciones que cumple la metáfora es la de conectar diferentes sentidos y, por tanto, ampliar el significado que tiene para una persona un determinado objeto matemático.

Al respecto, podemos decir que la metáfora ha constituido un motivo de reflexión teórica a lo largo de la historia, por lo que hoy en día disponemos de algunas ideas importantes sobre ella. De manera sucinta, estas ideas heredadas son:

- La metáfora es la aplicación a una cosa de un nombre que es propio de otra.
- La elaboración y comprensión de metáforas conlleva la captación de similitudes ocultas.
- La función y el origen de la metáfora es proporcionar placer estético al entendimiento.
- La metáfora es una clase de abuso verbal que ha de suprimirse del discurso propio del conocimiento.
- La metáfora constituye un elemento medular del lenguaje y su auténtica esencia.

Además, estas ideas heredadas se pueden agrupar en dos puntos de vista radicalmente diferentes:

- La metáfora es un accidente lingüístico marginal, con funciones comunicativas especializadas y ajenas al ámbito del conocimiento (un fenómeno a evitar).
- La metáfora encarna la auténtica naturaleza del lenguaje y del pensamiento (es el fenómeno central).

De acuerdo con el segundo punto de vista, los enfoques cognitivos y, en particular, el propuesto por la teoría contemporánea de la metáfora (Jonson, 1991; Lakoff y Jonson, 1991; Lakoff y Núñez, 2000; Núñez y colaboradores, 1999, entre otros) son los que, en nuestra opinión, tienen el protagonismo en las reflexiones actuales sobre la metáfora. Por tanto, el primer marco teórico utilizado en esta investigación deviene de la teoría sobre "Qué son las matemáticas", propuesta por Lakoff y Núñez (2000). El núcleo central de la teoría está basado en la importancia que tiene el cuerpo sobre la mente, y en los relativamente recientes hallazgos en lingüística cognitiva.

Como segundo referente teórico, y con la finalidad de afrontar la complejidad que la investigación sobre las metáforas requiere, hemos tenido en cuenta el Enfoque Ontológico y Semiótico (EOS) del conocimiento e instrucción matemática (Godino y colaboradores, 2007).

En el EOS se considera que la dialéctica personal-institucional está en la base de la emergencia de los objetos matemáticos, en el sentido de que el objeto institucional llama a la puerta del conocimiento personal para conseguir la emergencia del objeto personal. La manera de conseguir esta emergencia pasa por cuatro instrumentos de conocimiento, en los cuales juega un papel determinante el uso de "entidades vicariables o subrogatorias" (Font, 2007) ya que, en los procesos de enseñanza y aprendizaje de las matemáticas, se intenta justificar el lenguaje matemático abstracto mediante otro lenguaje menos abstracto, y para ello se utilizan subsidiariamente analogías, representaciones, diagramas, contextualizaciones, modelizaciones, metáforas, entre otras.

Metodología

La investigación fue de naturaleza diagnóstico-descriptiva y hermenéutica, y se realizó en dos fases claramente diferenciadas. Para la primera fase, y con la intención de dar respuestas a las dos primeras preguntas directrices del trabajo, diseñamos una secuencia de actividades para ser resueltas por los estudiantes, con la intención de:

- Analizar el discurso escrito que emplean los alumnos en contextos de resolución de ecuaciones
- Poner en evidencia potenciales dificultades y obstáculos debidos al uso de metáforas en la resolución de ecuaciones.

Trabajamos con las producciones escritas de 429 estudiantes aspirantes a ingresar en la Universidad Nacional de Villa María (Argentina), durante el año 2007, mientras cursaban el Módulo de Matemática.

Para la segunda fase, y con la intención de responder la tercera pregunta directriz del trabajo, analizamos 60 libros de Matemática que abordan la resolución de ecuaciones como tema de estudio. Estos libros pertenecen a las bibliotecas de los dos centros educativos encargados de la formación de profesores en la ciudad, y buscamos en ellos la presencia de los modelos y los métodos que eran más utilizados por los alumnos y que habían sido detectados en la primera fase de nuestro estudio. Básicamente hicimos la distinción entre dos formas de resolver una ecuación:

- Por propiedades o metáfora "objetual" (se dota a un objeto matemático de propiedades particulares). Ejemplo:

$$\text{Resolver; } 2(p + 4) = 7p - 2$$

Solución:

$$2p + 8 = 7p + 2 \quad (\text{propiedad distributiva})$$

$$2p = 7p - 6 \quad (\text{restando 8 de ambos miembros})$$

$$-5p = -6 \quad (\text{restando } 7p \text{ de ambos miembros})$$

$$p = \frac{-6}{-5} \quad (\text{dividiendo ambos miembros entre } -5)$$

$$p = \frac{6}{5}$$

¹ La dualidad extensivo-intensivo (particular-general), la representación, la metáfora y la contextualización-descontextualización.

- Por transposición de términos o metáfora operacional (un objeto matemático es considerado como un dispositivo donde sus elementos se pueden "pasar", "cruzar", "quitar", "colocar", ser "llevados", "transferidos", "transformados" o "trasladados" de un lugar a otro bajo ciertas reglas). Ejemplo:

Resolver: $(\sqrt{x} - 5)^2 = 25$

Solución:

$(\sqrt{x} - 5) = \sqrt{25}$ (pasamos la potencia al otro miembro como raíz)

$\sqrt{x} - 5 = 5$ (resolvemos la raíz)

$\sqrt{x} = 5 + 5$ (pasamos el 5 sumando en el segundo miembro)

$\sqrt{x} = 10$ (resolvemos la suma)

$x = 10^2$ (pasamos la raíz como potencia al segundo miembro)

$x = 100$ (resolvemos la potencia)

Resultados y discusión

Para la primera fase de la investigación, la cual tuvo como uno de sus objetivos analizar el discurso escrito que empleaban los alumnos en contextos de resolución de ecuaciones, analizamos las respuestas dadas a dos ejercicios de la secuencia de actividades que se diseñaron para el trabajo. Así, el ejercicio N° 1 proponía a los alumnos:

Supongamos que debes enseñarle a un compañero a resolver ecuaciones. Para ello te proponemos que resuelvas los ejemplos siguientes y escribas, como si fuera una ayuda para la otra persona, qué es lo que haces para hallar su solución.

a) $3 \cdot x - 1 = 5$

b) $\sqrt{x - 2} = 3$

Donde no sólo se debía buscar su conjunto solución, sino también, explicar los procedimientos que se llevaban a cabo.

El ejercicio N° 2, en tanto, exponía la resolución de dos ecuaciones, tal como aparecen en

la mayoría de los libros de textos de Matemática, y se le solicitaba a los estudiantes que dieran las explicaciones de los procedimientos que se pudieron haber empleado para hallar el conjunto solución.

Otros compañeros han trabajado de la siguiente manera. Te pedimos que nos expliques lo que han realizado en cada paso.

a)

$\frac{3 \cdot x - 5}{2} + 4 = 6$

$\frac{3 \cdot x - 5}{2} = 2$

$3 \cdot x - 5 = 4$

$3 \cdot x = 9$

$x = 3$

b)

$\sqrt{x} - 3 = 1$

$\sqrt{x} - 3 + 3 = 1 + 3$

$\sqrt{x} = 4$

$(\sqrt{x})^2 - (4)^2$

$x = 16$

Analizando la información emergente de la resolución de estas actividades, hallamos que 372 alumnos (79,7%) emplean, de manera explícita, la transposición de términos para explicar la resolución de ecuaciones. Además, la cantidad de alumnos se incrementa si incluimos a aquellos que de manera implícita usan este tipo de método. En este último caso, aludimos a quienes no dan explicaciones de la resolución que llevan a cabo y tampoco se evidencia el uso de propiedades, o aquellos que brindan explicaciones muy vagas y a quienes no resulta posible encuadrar en alguna categoría particular.

No obstante, si se tiene en cuenta a los alumnos que emplearon transposición de términos o metáfora operacional en su discurso escrito

para ambos ejercicios, ya sea de manera explícita o induciendo a ellas, el total asciende a 402, esto es, el 93,7% del total (Figura 1).

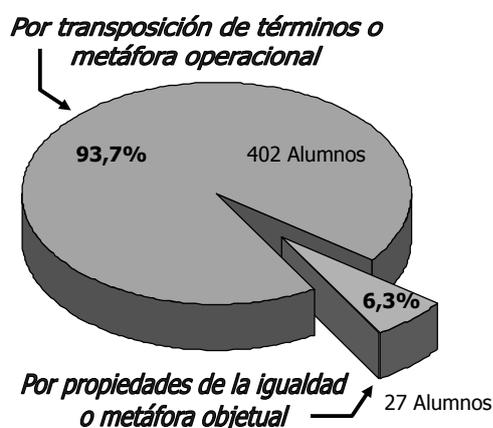


Figura 1: Métodos de resolución de ecuaciones que emplean los alumnos

El empleo de la transposición de términos, o una metáfora operacional, lleva a que los alumnos consideren a una ecuación como un dispositivo, donde los términos y números se pueden "pasar", "cruzar", "quitar", "colocar", ser "llevados", "transferidos", "transformados" o "trasladados" de un miembro a otro.

Tal como expresan Lakoff y Núñez (2000), aquí las metáforas pueden ser interpretadas como la comprensión de un dominio en términos de otro, y vienen a conformar metáforas conectadas a tierra (grounding metaphors), en tanto relacionan un dominio (de llegada) dentro de las matemáticas con un dominio (de partida) fuera de ellas.

Entre estas metáforas, se destacan las ontológicas. Un primer tipo de metáfora ontológica es la "objetual", que tiene su origen en nuestras experiencias con objetos físicos, y permite considerar acontecimientos, actividades, emociones, ideas, etc., como si fueran entidades (objetos, cosas, etc.) o sustancias. Nuestra experiencia en el mundo de las cosas nos permite considerar un objeto separado de su entorno y, a partir de dichas experiencias se genera el esquema de imagen objetual, el cual es el dominio de partida que se proyecta al mundo de las entidades matemáticas. Dicha metáfora conceptual se puede concretar en diferentes

expresiones metafóricas, tal como lo reflejan los fragmentos de los discursos escritos por los alumnos, que extractamos de las respuestas que brindaron a los ejercicios 1 y 2:

- *Debes despejar la incógnita (x) llevando los demás números al otro término cambiándole su signo;*
- *Debes despejar la incógnita (x) llevando los demás números al otro término cambiándole su signo;*
- *Así la suma se transforma en resta;*
- *Primero cambio de lugar el - 1 para el otro lado con +1;*
- *Pasamos la raíz cuadrada que se transforma en exponente del resultado;*
- *Pasamos al otro miembro con la operación contraria a la radicación que es la potenciación;*
- *Pasamos al otro término con la operación opuesta a la que realizan;*
- *Cuando trasladamos de un término a otro invertimos el signo;*
- *Se pasa al otro miembro el término que esté menos relacionado con la incógnita haciendo la operación inversa;*
- *Colocamos x del otro lado de la igualdad;*
- *Hay que transferir términos de un miembro a otro, invirtiendo la operación;*

Es de destacar que los alumnos utilizan las expresiones "términos" y "miembros" de una ecuación como equivalentes, y que aparecieron gran cantidad de errores en la resolución de las ecuaciones, pues aplican equivocadamente estas reglas de transposición de términos que sustentan en su discurso.

Como segundo objetivo de la primera fase de investigación, nos propusimos poner en evidencia potenciales dificultades y obstáculos debidos al uso de la transposición de términos en la resolución de ecuaciones. Con este propósito, solicitamos en el ejercicio 3 que se determinara el número de ecuaciones presentes en la resolución del ejercicio anterior (el número 2). Sosteníamos, como hipótesis muy fuerte, que el uso de la transposición de términos o metáforas operacionales, para resolver ecuaciones, podría llegar a impedir que se distinguieran las ecuaciones equivalentes.

Pudimos constatar que sólo 25 alumnos (5,8%) distinguieron las 5 ecuaciones presentes en el

ejercicio y el resto (94,2%) lo hizo desacertadamente. Quienes sólo distinguen una ecuación, argumentan en términos de:

- *Porque hay una sola incógnita;*
- *Porque hay una sola igualdad con una incógnita;*
- *Porque el resultado que tengo que determinar es de una sola x;*

- *Porque siempre se resuelve la misma. Un importante número de alumnos (32,8%) argumenta distinguir sólo 4 ecuaciones, en tanto consideran a la última ($x = 3$ o $x = 16$) sólo un "resultado" y no una ecuación. Algunos argumentos que esgrimieron para esta decisión fueron:*
- *Porque en los primeros pasos la incógnita no está sola, lo que hace que sigan manteniéndose las ecuaciones;*
- *Porque todavía no se sabe cuánto vale x;*
- *Porque en cada una de ellas, la x no tiene valor;*
- *Porque en la última la incógnita ya está encontrada o resuelta;*
- *Porque en los primeros pasos hay una incógnita;*
- *Porque en los primeros pasos siempre hay que encontrar el valor de una incógnita;*
- *Porque en las primeras hay una incógnita. Siempre que hay una incógnita (x) es una ecuación;*
- *Porque se fue haciendo por pasos y la ecuación es más chica hasta llegar al resultado.*

El ejercicio 4 de la guía de actividades, en tanto, involucraba la resolución de tres ecuaciones de segundo grado equivalentes en su conjunto solución:

Encuentra los valores de x que satisfacen cada ecuación

[Ayuda: Recuerda que si $ax^2+bx+c=0$ entonces las raíces de esta ecuación pueden obtenerse mediante la expresión $\frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$]

a) $x^2 - 5x + 6 = 0$

b) $-x^2 + 5x - 6 = 0$

c) $\frac{1}{10}x^2 - \frac{1}{2}x + \frac{3}{5} = 0$

Las dos primeras se presentaban con coeficientes enteros, mientras que en la última se empleaban coeficientes racionales no enteros. Nuestras hipótesis previas establecían que los alumnos que sólo utilizan la transposición de términos en contextos de resolución de ecuaciones no advertirían la equivalencia y que, por otro lado, el trabajo con números racionales los llevaría a cometer errores, o a desistir de realizar el ejercicio. Cabe hacer notar que los alumnos no contaban con calculadoras para la resolución de las ecuaciones propuestas.

Tal como lo esperábamos, el 82,5 % (354 alumnos) presentaron dificultades para hallar el conjunto solución de una ecuación de segundo grado con coeficientes racionales no enteros, y ninguno de los estudiantes trabajó con ecuaciones equivalentes².

Por último, el ejercicio 5 planteaba hallar el conjunto solución de una ecuación racional, la que fácilmente podía ser resuelta si se buscaba una ecuación entera equivalente a ella. Esto se lograba si se multiplicaba a ambos miembros de la igualdad por la variable que intervenía³, lo que conllevaba a la ecuación que proponía el ejercicio 1, inciso "a" ($3x - 1 = 5$).

Sólo 91 alumnos resuelven correctamente la ecuación (21,2%) y 2 de ellos se valen de propiedades (metáfora "objetual") para hallar una ecuación equivalente más sencilla de resolver (multiplicaron ambos miembros por la variable). El resto, 338 alumnos (78,8%) no logran tener éxito en la búsqueda del conjunto solución y emplean con errores la transposición de términos. Asimismo, es de destacar que ningún alumno realizó un análisis retrospectivo de la solución, aun entre quienes lo resolvieron correctamente, que permitiera determinar si el conjunto solución era el apropiado.

Si analizamos estos tres últimos ejercicios, en forma conjunta, podemos percibir que a la mayoría de los estudiantes (aproximadamente un 80%) se les presentaron obstáculos insoslayables en la resolución de ecuaciones,

² Multiplicando por 10 a ambos miembros de la igualdad se podía determinar que la ecuación planteada en el inciso "b" era equivalente en su conjunto solución a la del inciso "a".

³ Debe tener presente el lector que multiplicar a ambos miembros de una ecuación por una expresión que involucre la variable puede conducir a ecuaciones no equivalentes, aunque en este caso, sí resultaban serlo.

los cuales podían haber sido fácilmente salvables si se hubiesen utilizado propiedades de la igualdad (metáfora objetual).

Culminada la primera fase de la investigación, iniciamos la segunda, la cual involucró el análisis de 60 textos de Matemática que discriminamos por nivel educativo (secundario o universitario). Hallamos que sólo un 15,5% de los libros de texto de matemáticas, para el nivel secundario, enfoca la resolución de ecuaciones mediante propiedades o metáfora objetual (Figura 2), mientras que los restantes (84,5%) se valen de la transposición de términos o metáforas operacionales (Figura 3), o inducen a su uso (Figura 4).

De todos modos, podemos hacer una distinción entre estos modelos o métodos de resolución de ecuaciones que utilizan los textos escolares de Matemática para el nivel secundario, pues consideramos que no influyen del mismo modo, en la cognición individual de los alumnos, las metáforas operacionales asociadas ala transposición de términos (*El número que está sumando en un miembro de una igualdad pasa restando al otro, el que está multiplicando pasa dividiendo, etc.*) o aquéllas que intentan mostrar una analogía entre las ecuaciones y un subibaja o balanza. En este último caso, pensamos que si bien la metáfora "*una ecuación es como un subibaja o balanza*" no lleva a pensar que se están empleando propiedades o reglas propias del tema en cuestión, sí creemos que conlleva a una mejor captación de similitudes

RESOLUCION DE LA ECUACIÓN $x + a = b$

Vamos a resolver la ecuación $x + 5 = 9$

$x + 5 = 9$ Para despejar la x debemos eliminar el 5 que está sumando en el primer miembro

$x + 5 - 5 = 9 - 5$ Restamos 5 a cada miembro

$x = 4$ La x queda despejada. La solución es $x = 4$

Figura 2: Resolución de una ecuación por propiedades

ECUACIONES

Para resolver ecuaciones de primer grado es indispensable seguir un plan de trabajo.

Ejemplo:

$(\sqrt{x} - 5)^2 = 25$

$\sqrt{x} - 5 = \sqrt{25}$ _____ la potencia al cambiar de miembro se transforma en la operación opuesta

$\sqrt{x} - 5 = 5$ _____ reducimos la raíz

$\sqrt{x} = 5 + 5$ _____ pasaje de término

$x = 10^2$ _____ la raíz al cambiar de miembro, se transforma en potencia

x = 100

Figura 3: Resolución de una ecuación por transposición de términos

ocultas entre dominios que se encuentran fuera y dentro de la Matemática.

En el análisis de los textos de Matemática para el nivel superior universitario, hallamos que 60% de ellos enfocan la resolución de ecuaciones aplicando exclusivamente propiedades (metáfora objetual) y que solo uno de los libros emplea reglas de transposición de términos (metáfora operacional) luego de haber presentado las propiedades de la igualdad.

Por último, si tenemos en cuenta los modelos y métodos de resolución de ecuaciones que emplean los libros de texto de Matemática debemos destacar que existe una estrecha relación entre las metáforas que emplean los alumnos y las que presentan, o inducen, los mismos.

Conclusiones

En este trabajo hemos puesto de manifiesto que los estudiantes utilizan fundamentalmente la transposición de términos como método de resolución de ecuaciones. Este modelo, apoyado en metáforas operacionales, que seleccionan, acentúan, suprimen y reorganizan ciertos rasgos característicos de la resolución de ecuaciones, deja abiertas las puertas para que una ecuación pueda ser considerada como un objeto o dispositivo donde los términos y números se pueden "pasar", de un miembro a otro, bajo

ciertas condiciones y reglas específicas. A su vez, hallamos que este modelo es el más utilizado por los textos escolares de Matemática para el nivel secundario, no ocurriendo de este modo con los del nivel superior o universitario

Por otra parte, notamos que la forma de proceder de los alumnos y de muchos textos escolares del nivel secundario, frente a la resolución de ecuaciones, no condice con el modo en que es presentado el tema en los libros de Matemática del nivel universitario. En estos últimos pareciera existir un mayor grado de conciencia de las implicancias educativas que tiene el uso de ciertos métodos, como la transposición de términos y, posiblemente por esta razón, abordan el tema predominantemente por medio de las propiedades de la igualdad (metáfora objetual).

Finalmente, también nos fue posible verificar que el uso de transposición de términos en la resolución de ecuaciones no es inocuo para el aprendizaje de los estudiantes, en tanto conlleva a dificultades que no todos logran superar. Con esto no estamos diciendo que no debe emplearse este modelo en contextos de resolución de ecuaciones, sino más bien que los profesores deben tomar conciencia de sus efectos, con el fin de seleccionar aquellos métodos que sirvan para estructurar más adecuadamente el objeto matemático que se quiere enseñar.

Referencias

- ABRATE, R.; POCHULU, M.; VARGAS, J. (2006) *Errores y dificultades en Matemática: análisis de causas y sugerencias de trabajo*. Universidad Nacional de Villa María. Buenos Aires.
- ABRATE, R.; FONT, V.; POCHULU, M. (2007a) *Metáforas utilizadas en contextos de resolución de ecuaciones*. En: Memorias de la XII Conferencia Interamericana de Educación Matemática (15 al 18 de julio de 2007). CIEM. Santiago de Querétaro.
- ABRATE, R.; FONT, V.; POCHULU, M. (2007b) *Implicancias educativas del uso de metáforas en contextos de resolución de ecuaciones*. En: Memorias de la XXX Reunión de Educación Matemática, 17 al 22 de septiembre de 2007. UMA y FAMAFA. Córdoba, Argentina.
- FILLOY, E. (1987) *Modeling and teaching of Algebra*. En J. C. Bergeron, N. Hercovics & C. Kieran (editores). Proceedings of PME-XI. Vol.1, p. 295-300. Montreal.
- FILLOY, E.; ROJANO, T. (1985a) *Obstructions to the acquisition of elementary algebraic concepts and teaching strategies*. En L. Streefland (Editor). Proceedings of PME-IX, OW & OC, p. 154-158. State University of Utrecht.
- FILLOY, E.; ROJANO, T. (1985b) *Operating the unknown and models of teaching*. En S. Damarin y M. Shelton (Editores). Proceedings of PME-NA VII. P. 75-79. Columbus, Ohio.
- FILLOY, E.; ROJANO, T. (1989) *Solving equations: the transition from arithmetic to algebra. For the learning of Mathematics* 9(2), 19-25.
- FONT, V. (2007) *Cuatro instrumentos de conocimiento que comparten un aire de familia: particular-general, representación, metáfora y contexto*. En: Actas de la 20 Reunión Latinoamericana de Matemática Educativa, 20, p. 55-60.
- GODINO, J. D. (2002) *Un enfoque ontológico semiótico de la cognición matemática*. RDM. 22(2/3), 237-284.
- GODINO, J. (2003) *Teoría de las Funciones Semióticas: Un enfoque ontológico-semiótico de la cognición e instrucción matemática*. Universidad de Granada. GODINO, J. D.; BATANERO, C.; FONT, V. (2007) *The Onto-Semiotic Approach to Research in Mathematics Education*. ZDM. 39(1/2), 127-125.
- GODINO, J. D.; CONTRERAS, A.; FONT, V. (2006) *Análisis de procesos de instrucción basado en el enfoque ontológico-semiótico de la cognición matemática*. RDM. 26, 1, 39-88.
- HERCOVICS, N. (1980a) *Constructing meaning for linear equations: a problem of representation*. RDM. 1, 3, 351-385.
- HERCOVICS, N.; KIERAN, C. (1980b) *Constructing meaning for the concept of equation*. J. Math. Teacher Educ. 73(8), 572-580.
- HERCOVICS, N.; LINCHEVSKI, L. (1994) *A cognitive gap between arithmetic and algebra*. Educ Stud Math. 27, 59-78.
- KIERAN, C. (1981) *Concepts associated with the equality symbol*. Educ Stud Math. 12, 317-326.
- KIERAN, C. (1992) *The learning and teaching of school algebra*. In: Grouws, D.A. Handbook of Research on Mathematics Teaching and Learning. Macmillan, New York.
- JOHNSON, M. (1991) *El cuerpo en la mente*. Editorial Debate. Madrid.
- LAKOFF, G.; JOHNSON, M. (1991) *Metáforas de la vida cotidiana*. Editorial Cátedra, Madrid.
- LAKOFF, G.; NÚÑEZ, R. (2000) *Where mathematics comes from: How the embodied mind brings mathematics into being*. Basic Books. New York.
- LERMAN, S. (2001) *Cultural, discursive psychology: A sociocultural approach to studies the teaching and learning of mathematics*. Educ. Stud. Math. 46(1-3), 87-113.
- NÚÑEZ, R.; EDWARDS, L.; MATOS, J. F. (1999) *Embodied cognition as grounding for situatedness and context in mathematics education*. Educ. Stud. Math. 39, 45-65.
- PALMA, H. (2004). *Metáforas en la evolución de las ciencias*. Jorge Baudino, Buenos Aires.
- POCHULU, M. (2005a) *Análisis y categorización de errores en el aprendizaje de la Matemática en alumnos que ingresan a la Universidad*. RIE. Vol. 35.
- POCHULU, M. (2005b) *Continuidades y discontinuidades en la enseñanza de la matemática de tres generaciones. Estudio de caso: sexto año de estudio en una escuela primaria*. RIE. Vol. 36/1.
- RIVERO, F. (2000) *Resolviendo las ecuaciones lineales con el uso de modelos*. Notas de Matemática. Revista del Departamento de Matemática de la Facultad de Ciencias. Universidad de Los Andes, Mérida – Venezuela. Vol. 1, N°. 201.

Evaluación innovadora: una experiencia con estudiantes tecnológicos

Carlos Oscar Pano

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Medrano 951 (C1179AAQ)
Buenos Aires, Argentina
Universidad de Buenos Aires, Facultad de Psicología, Independencia 3065 (C1225AMM)
Buenos Aires, Argentina
e-mail: cpano@psi.uba.ar

Recibido el 10 de julio de 2008; aceptado el 8 de septiembre de 2008

Resumen

La modalidad utilizada en la experiencia de evaluación relatada se inscribe en el marco de las "Prácticas de Evaluación Innovadoras". Se trata de una evaluación inserta en el proceso educativo que proporciona información para su regulación, atendiendo así a las funciones formativas y formadoras, en contraposición a las "Prácticas de evaluación tradicionales" que privilegian la función social de acreditación.

Con esta modalidad de evaluación se trabajó en la resolución de problemas de cierta complejidad estimulando tanto el aprendizaje autónomo como el colaborativo. Al concluir la cursada se encuestó a los alumnos para conocer sus opiniones sobre el método de evaluación empleado. El trabajo analiza sus respuestas.

PALABRAS CLAVES: EVALUACIÓN DE APRENDIZAJES, ESTUDIANTES TECNOLÓGICOS, EVALUACIÓN INNOVADORA

Abstract

The method used in the assessment experience detailed in this work is framed within the "Innovative Assessment Practices". It is an assessment included in the educational process that provides information for its regulation, addressing the formative and educational functions, as opposed to the "Traditional Assessment Practices," where the social function of accreditation is privileged.

This assessment method was applied with students solving moderately complex problems, stimulating both autonomous and collaborative learning. At the end of the course, the students were surveyed in order to learn their opinions about the assessment method that was used. This paper analyzes their answers.

KEY WORDS : LEARNING ASSESSMENT, TECHNOLOGY STUDENTS, INNOVATIVE ASSESSMENT

Introducción

Este trabajo forma parte de un proyecto de investigación acerca de la evaluación de los aprendizajes de estudiantes universitarios tecnológicos. Se evaluó a los estudiantes de un curso de Probabilidad y Estadística de la Facultad Regional Buenos Aires de la Universidad Tecnológica Nacional con una modalidad que, a los efectos de la comunicación con los alumnos, fue denominada como "Evaluación por entrega de trabajos".

La experiencia que se presenta y analiza se inscribe en el marco de las "Prácticas de Evaluación Innovadoras". Estas prácticas renuevan la relación entre evaluación y actividades de enseñanza y aprendizaje, al ubicarla como parte del proceso educativo. Tradicionalmente la evaluación aparece una vez finalizado un período de enseñanza y bajo el supuesto de que el aprendizaje debería haberse concretado. En los tiempos que transcurren se está empezando a revisar esa relación (más en teoría que en la práctica universitaria) y "tomando conciencia de que evaluación, enseñanza y aprendizaje constituyen una unidad indisoluble" (Coll y colaboradores, 2001). Lo tradicional y lo nuevo permiten entonces distinguir dos funciones atribuidas a la evaluación: "una función pedagógica, al servicio de la mejora de los procesos de enseñanza y aprendizaje; y una función social, al servicio de la acreditación ante el conjunto de la sociedad del nivel de capacitación alcanzado por alumnos mediante los aprendizajes realizados" (Coll y Onrubia, 1999).

La función pedagógica implica a la evaluación en el proceso educativo; la pone al servicio de decisiones de orden pedagógico, le da un sentido positivo; sus resultados muestran qué actividades de enseñanza y aprendizaje es necesario reorganizar, a los efectos de mejorarlas a la luz de las debilidades encontradas. Cuando la evaluación cumple esta función se la ha dado en llamar "evaluación formativa": es la evaluación que "tiene como finalidad poner en relación las informaciones relativas a la evolución del proceso de aprendizaje de los alumnos con las características de la acción didáctica, a medida que se despliegan y avanzan las actividades de enseñanza y aprendizaje. El juicio de valor resultante versa pues, en este caso, sobre el desarrollo mismo del proceso educativo y debe ser útil, en principio, tanto para ayudar

al profesor a tomar decisiones que le permitan mejorar su actividad docente, como para ayudar a los alumnos a mejorar su actividad de aprendizaje. Tradicionalmente, se ha subrayado la utilidad de este tipo de evaluación para regular la enseñanza, y de ahí la denominación más extendida de evaluación «formativa». En estos últimos años, sin embargo - sobre todo a partir de las aportaciones de Nunziati (1990) -, se ha subrayado con insistencia su vertiente «formadora», es decir, su utilidad para que los alumnos aprendan a regular sus procesos de aprendizaje" (Coll y colaboradores, 2001: 553).

La función social hace de la evaluación una forma de control social. Los resultados generan decisiones de orden social, en tanto se los utiliza para acreditar ante la sociedad las competencias alcanzadas mediante los aprendizajes realizados. Cuando estos resultados se expresan en una nota aprobatoria de la asignatura, el estudiante acredita haber alcanzado una parte de la capacidad que precisa para desarrollar las actividades que su futura profesión le permite, de acuerdo con las incumbencias de la ley.

Las prácticas de evaluación innovadoras

En la concepción de Solé Gallart (2001) se entiende por "prácticas de evaluación innovadoras" aquellas que se caracterizan por incluir actividades preparatorias destinadas a repasar los conceptos o los procedimientos que van a ser objeto de una prueba, a informar sobre los criterios de evaluación y a orientar a los alumnos en la preparación de la prueba; *variedad de tareas* que obligan a integrar información de diferentes fuentes y a articular contenidos conceptuales con contenidos de procedimiento; *actuaciones de regulación* tendientes a revisar y corregir los productos que se elaboran antes de darlos por terminados; *uso de instrumentos y recursos* que los alumnos conocen para facilitar el desarrollo de la tarea encomendada y ayudas del profesor que orienten a los alumnos en el trabajo y den cuenta de lo que pueden hacer por su cuenta y hasta donde pueden hacer con la ayuda. Ya se dijo que en estas prácticas "el error deja de ser una falta para convertirse en información que aporta a la mejora de la enseñanza y del aprendizaje" (Pano y colaboradores, 2005a). El uso de recursos y el requerimiento de habilidades propios del desempeño profesional es otro elemento innovador.

Como lo señalaran Pano y colaboradores (2005b) las prácticas de evaluación innovadoras se inscriben en la concepción constructivista de la enseñanza y el aprendizaje. Así es por las *actuaciones de regulación* que facilitan el aprendizaje significativo al centrarse en el proceso de realización más que en los productos terminados; por la variedad de tareas que busca explorar los diferentes significados que los alumnos puedan haber construido sobre los contenidos aprendidos en distintas ocasiones; por las *actividades preparatorias* destinadas a explicitar la modalidad, los contenidos y el uso de los resultados de una prueba; por el *uso de instrumentos y recursos* ya conocidos que el alumno relacionará con las demandas de la evaluación sobre los nuevos conocimientos construidos; por las *ayudas del profesor* previstas, que se constituyen en andamiajes para la actuación del alumno en las instancias de evaluación; por el sentido positivo que se le atribuye al error y por el *uso de recursos y el requerimiento de habilidades propios del desempeño profesional* porque conecta al estudiante con las competencias a lograr.

Las *prácticas de evaluación innovadoras* están dirigidas a explorar el proceso de construcción de conocimiento. Estas prácticas son innovadoras no por novedosas sino porque, integradas al proceso educativo, atienden más a la formación de los alumnos que a la acreditación formal de sus logros educativos.

La experiencia

La modalidad de evaluación que se experimentó consistió en pedir a los alumnos la realización de seis trabajos, uno por cada una de las unidades del programa de la materia. El trabajo demanda la resolución de un problema de cierta complejidad, la explicación de conceptos conexos y el responder a algunas preguntas.

El problema se presenta con enunciado y datos, se completa con ítems que constituyen una guía para el razonamiento del alumno. Centra la evaluación en el *saber-hacer*. Con las explicaciones pedidas y las preguntas se pretende evaluar, principalmente, los contenidos conceptuales de la materia relacionados con los saberes que se necesitan para resolver el problema.

La resolución del problema es un proceso en el que intervienen múltiples operaciones cogni-

tivas. La comprensión del enunciado para encuadrar convenientemente el problema, el uso de determinado registro de representación semiótica para expresarlo en forma tangible, la selección de una estrategia para resolverlo, la recuperación desde la memoria de la información necesaria, la búsqueda de información complementaria, la operación de la calculadora o de la computadora, la elección y la utilización de un programa de computación, el análisis de la salida del programa, el establecimiento de la relación entre la información producida por el programa y la recuperada o encontrada, la generación de una nueva información a partir de esa relación, la integración con la información tenida en el estado inicial, la elaboración de las respuestas adecuadas a los distintos ítems para formular la solución y la evaluación de la solución, son habilidades que alumno despliega en la realización de la tarea. El proceso de dar las explicaciones que se piden y responder a las preguntas pone en juego capacidades cognitivas de nivel superior. La interpretación de las preguntas, la organización de la información disponible, la ejemplificación de un concepto, la comparación para advertir similitudes y diferencias entre entidades, la elección óptima entre nociones, el uso de un lenguaje matemático apropiado, el reconocimiento de relaciones, la interpretación cabal de los conceptos utilizados, la expresión en forma de síntesis, la redacción de las respuestas y el ordenamiento de todos los elementos que forman la entrega, son habilidades que el alumno despliega en la realización de la tarea.

Una vez finalizado el desarrollo de una unidad en el aula, el alumno recibe impresa una hoja con el enunciado del problema y las preguntas. Además se le indican las siguientes pautas a tener en cuenta en la realización del trabajo:

- Asegúrese que entendió el problema y piense en un plan de resolución. Comience con el reconocimiento y la exhibición de los datos.
- Indique los conceptos teóricos involucrados en la resolución del problema.
- Ponga atención al lenguaje escrito, tanto al corriente como al simbólico. Escriba correctamente. Usted escribe para comunicar a otro su trabajo.
- Cuide los aspectos numéricos. Puede utilizar calculadoras o un programa de computación. Revise las cuentas. Reflexione sobre la razonabilidad de los resultados alcanzados.

Estas pautas constituyen una elemental guía para la preparación del trabajo y hacen de esa preparación una actividad de aprendizaje.

A la semana el alumno hace una primera entrega. Los docentes del curso hacen los señalamientos de lo que debe mejorarse y corregirse. En ningún caso señalan resultados o respuestas terminadas. Con las indicaciones recibidas el alumno rehace el trabajo y lo entrega por segunda y última vez. La interacción entre el profesor y el alumno hace que ésta sea también una instancia de enseñanza y aprendizaje. Los docentes corrigen la segunda versión y, si satisface los criterios establecidos, dan por aprobado el trabajo. En caso de que esto no ocurra el alumno tiene que recuperar las unidades no aprobadas por trabajo y rendir el examen final. La recuperación tiene lugar a la finalización del curso y, por limitaciones de tiempo, adopta la modalidad del examen parcial tradicional.

Esta modalidad comentada, establecida como práctica de evaluación innovadora por obligaciones institucionales, cumple también con la función social, contempla marcadamente la función pedagógica y se basa en la pretensión de estimular en el aula un aprendizaje orientado al desarrollo de destrezas superiores (pensamiento crítico y creativo, capacidad de resolución de problemas, construcción de conocimientos aplicables a situaciones nuevas y generalizables, capacidad de análisis y de síntesis, interpretación de textos, traducción de una forma de representación de la información a otra). Por eso, según indica Álvarez Méndez (2003), es necesario practicar una evaluación que vaya en consonancia con esos propósitos. Por otro lado estimula tanto el aprendizaje autónomo como el colaborativo, conjugando la teoría con la práctica e integrando conocimientos, habilidades y valores.

Al concluir la cursada se encuestó a los alumnos para conocer sus opiniones sobre el método de evaluación empleado. El cuestionario empleado de diecisiete ítems contenía preguntas de estimación, otras dicotómicas y algunas para caracterizar la muestra.

La muestra se conformó con veinte alumnos. Se trató de una muestra accidental (Buendía Eisman y colaboradores, 1998) formada con los que asistieron al último día de clase. El 85 % de los alumnos, según lo informado, tenían

edades entre 19 y 21 años. En cuanto al sexo, las proporciones de uno y de otro no difirieron significativamente. La mitad de los alumnos manifestaron que trabajaban y la otra mitad que no lo hacía.

Resultados y discusión

Del análisis de las respuestas que los alumnos dieron a las preguntas del cuestionario resulta que:

Preguntados sobre si les resultó interesante cursar la materia el 90% respondió con los dos valores altos de una escala de cuatro. Con los mismos valores altos respondió el 100% a la pregunta sobre cuánto aprendió. Sobre la incidencia del método de evaluación por entrega de trabajos en el aprendizaje de los temas de la materia las respuestas se ubicaron mayoritariamente en los valores altos (media = 8,55 en escala de 2 a 10). El noventa por ciento de los alumnos encuestados opinó que ese método de evaluación contribuyó grandemente en la comprensión de la materia. Las respuestas tienden a demostrar que el método actuó como un fuerte motivador para el aprendizaje, facilitando que los alumnos se corrieran de la actitud de *estudiar para aprobar a la de estudiar para aprender*.

Todos tuvieron necesidad de recurrir a los libros para hacerse de los recursos teóricos y prácticos que necesitaron para resolver las tareas planteadas. La actividad de consulta de libros inicia al alumno en la lectura reflexiva de textos de nivel superior, dirigida a la búsqueda de una solución, competencia que juega un papel importante en su reestructuración y reorganización cognitiva.

Todos manifestaron que prestaron ayuda a sus compañeros para encarar el trabajo y, salvo uno, que también la recibieron. El 45% efectuó consultas a personas ajenas al curso. La circunstancia de contar con ayudas y hacer consultas puede entenderse desde el concepto de zona de desarrollo próximo de Vygotsky (1998). En esta zona actúan un sistema interactivo, una estructura de apoyo creada por quien guía y las herramientas culturales apropiadas para la situación. La zona de desarrollo próximo marca la diferencia entre el nivel real de desarrollo, determinado por la capacidad de resolver independientemente un problema, y

el nivel de desarrollo potencial, determinado a través de la resolución de un problema bajo la guía de un adulto o en colaboración con otros compañeros. La oportunidad que tuvieron los estudiantes de interactuar entre ellos, haciendo de la evaluación una actividad colaborativa y por lo tanto integrada en una zona de desarrollo próximo, les permitió aprender a pensar explorando la situación problemática creada, discutiendo y ayudándose mutuamente. La resolución exitosa del problema planteado luego de la ayuda recibida del experto es una manifestación de que se estaba en la zona de desarrollo próximo en el momento en el que la ayuda se recibió.

De los ocho recuperadores cinco no tienen aprobadas las asignaturas previas requeridas por las correlatividades y dos son recursantes. De aquí puede desprenderse que los bajos rendimientos están asociados a bajos rendimientos anteriores.

El cincuenta y cinco por ciento de los alumnos prefiere el método de evaluación por entrega de trabajos al de evaluación por exámenes parciales; un cuarenta por ciento se inclina por los parciales y el restante cinco por ciento no responde a la correspondiente pregunta. Quienes promocionaron se inclinan por la entrega de trabajos. El entusiasmo docente esperaba un porcentaje mayor de preferencia por la evaluación por entrega de trabajos. El resultado puede entenderse por el esfuerzo requerido a alumnos influidos por una corriente de facilismo, poco acostumbrados al trabajo constante, a la investigación bibliográfica y a la reflexión profunda sobre la propia producción.

A continuación de las preguntas el formulario de la encuesta indicaba un espacio para que el alumno expresara sus comentarios. Algunos de ellos dijeron:

"Resolver los trabajos en lugar de rendir un parcial puede parecer sencillo pero no lo es. Requiere prestar mayor atención a la materia, desde prestar mayor atención en la clase a realizar investigaciones (libros, Internet, etc.) preguntar, suponer, etc. Eliminó el dicho de pasillo "a probabilidad se la estudia en un día". Pero personalmente hubiera preferido el método de los parciales a pesar de esas ventajas. Es que no hubiera dejado de estudiar la materia y no dudo que me habría ido mejor. Aún así fue un

experimento novedoso del que me gustó ser parte". (Alumno 1)

"Sinceramente no hice muchos ejercicios de la guía y encarar los trabajos me presentaba casi un desafío, consultando libros, Internet, etc. Y consultando tantas fuentes siento que aprendí más que estudiando para un examen. Además, al tomar a los trabajos como desafíos los hacía con un entusiasmo diferente con el que hubiera estudiado para un examen. Creo que las situaciones planteadas no seguían siempre un "patrón" como la mayoría de los de la guía, y hacían pensar más y quizás hasta acercarse más a situaciones no tan triviales que se podrían presentar en la vida real. Es complicado el tema de las "consultas" entre compañeros sobre los trabajos, pero estoy de acuerdo con que si una consulta hizo que ambos aprendan, se cumplió el objetivo. Me ha pasado llegar a conclusiones interesantes, incluso extendiéndose del "dominio" del trabajo, pensando entre dos y realmente aprendí". (Alumno 2)

"No me gustó estar todos los viernes tensionada por aprobar los trabajos; prefiero tensionarme dos veces por parcial en toda la cursada y listo. Aparte los trabajos eran bastante complicados y algunas resoluciones eran con cosas que ni siquiera vimos en la clase, cosa que la dificultaba aún más y eso hace tener que estar toda la semana viendo la manera de solucionar el problema". (Alumno 3)

"Creo que la modalidad de evaluación por entrega de trabajos hizo a la materia mucho más pesada y no tan disfrutable". (Alumno 4)

"La aprobación por este método me pareció que uno se tiene que arreglar o rebuscárselas por sí mismo para poder resolver los ejercicios. Nos despierta un poco más aunque nos hace correr durante la semana para realizar todo el trabajo. De todas formas nos hace mantener constancia en la materia y aparte combina ejercicios de diferentes unidades; en cambio con los parciales uno puede estudiar la semana anterior... Me gustó mucho ver las aplicaciones de la probabilidad y no pensé nunca que fuera una materia tan extensa e interesante". (Alumno 8)

"Me pareció un buen método de aprendizaje y se aprende mucho luego de la primera corrección del trabajo que uno debe buscar la

solución del error. Yo, personalmente, creo que aprendí más de lo que esperaba". (Alumno 18)

"La verdad este método ayuda en bastantes ámbitos: primero, es útil, ya que es necesario investigar más allá de lo visto en clase. Segundo, también sirve para tener un seguimiento regular de la materia ya que, en el caso de los parciales, el estudio generalmente se va posponiendo debido a exámenes de otras materias. En el caso de los Trabajos no pasa porque entre los ejercicios de la guía, necesarios para incorporar la teoría, y los Trabajos todas las semanas se estudia Probabilidad. La corrección y posibilidad de una segunda entrega, hace que uno pueda evaluar más a conciencia donde se encuentra más "flojo" y poder corregir y afianzar conocimientos. Debido a que esta no es la materia que más me gusta, este método me ayudó mucho a aprender los temas debido al seguimiento regular antes mencionado". (Alumno 20)

En consonancia con el marco teórico en que se inscribe la experiencia los alumnos 1 y 2 rescatan la necesidad de recurrir al uso de determinados recursos (libros, Internet, etc.) lo que no es habitual en el nivel en que se encuentra la materia cuando se evalúa en forma tradicional. El alumno 2 rescata la interacción entre pares como potenciadora del aprendizaje. El 18 y el 20 aluden a la primera instancia de corrección y a la posibilidad de rehacer el trabajo como posibilidad de superarlo. Los alumnos 3, 8 y 20

perciben que el error no es algo que el docente deba penalizar y que su señalamiento da la comentan que los trabajos solicitados hacen que la materia quede expuesta diariamente a su consideración; la continuidad en el tiempo de estudio favorece la construcción del conocimiento. Los comentarios no favorables de los alumnos 3 y 4 muestran que estudiantes vitalmente atravesados por requerimientos laborales, familiares o sociales, y expectativas, intereses y sentimientos diversos no pueden asumir con entusiasmo un compromiso de fuerte trabajo de aprendizaje.

Conclusiones

Téngase a modo de conclusión que la modalidad de evaluación por entrega de trabajos se sostiene sobre sólidos fundamentos teóricos, en el caso comentado tuvo buena aceptación por parte de los alumnos. De los resultados obtenidos, que deberán ser corroborados con nuevas encuestas en futuras experiencias, surge la hipótesis de que contribuye a disminuir el número de alumnos que fracasan en el cursado de la materia y adelanta una forma de trabajo que aparece en asignaturas de niveles superiores.

Agradecimientos

El autor expresa su agradecimiento a las T. Gil y A. M. Lux por su destacada contribución a la corrección de los trabajos motivo de este artículo.

Referencias

- ÁLVAREZ MÉNDEZ, J. M. (2003) *La evaluación a examen*, 1ª edición. Miño y Dávila SRL, Buenos Aires.
- BUENDÍA EISMAN, L.; COLÁS BRAVO, P.; HERNÁNDEZ PINA, F. (1998) *Métodos de Investigación en Psicopedagogía*. McGraw-Hill, Madrid.
- COLL, C.; MARTÍN, E.; ONRUBIA, J. (2001) *La evaluación del aprendizaje escolar: dimensiones psicológicas, pedagógicas y sociales*. En Coll, C., Palacios, J. y Marchesi, A. (Comp.) *Desarrollo psicológico y educación. 2. Psicología de la educación escolar*. Alianza Editorial, Madrid.
- COLL, C.; ONRUBIA, J. (1999) *Evaluación de los aprendizajes y atención a la diversidad*. En Coll, C. (Coord.) *Psicología de la instrucción: la enseñanza y el aprendizaje en la educación secundaria*. ICE/Horsori, Barcelona.
- NUNZIATI, G. (1990) *Pour construire un dispositif d'évaluation formatrice*. Cahiers Pédagogiques 280, 47-64.
- PANO, C.; TORRE, V.; DUHALDE, M. (2005a) *La Evaluación de Aprendizajes de Estudiantes Tecnológicos*. *Memorias de las XII Jornadas de Investigación - Primer Encuentro de Investigadores en Psicología del Mercosur*. Tomo I, 285-287.
- PANO, C.; TORRE, V.; DUHALDE, M. (2005b) *Reflexiones sobre las prácticas evaluativas en la universidad desde una mirada constructivista*. En Palermo, A. I. y Cappellacci, I. (coords.) *Las relaciones entre la teoría y la metodología en la investigación educativa*. ISP J. V. González, Departamento de Educación, Universidad Nacional de Luján, 537-544.
- SOLÉ GALLART, I. (2001) *Evaluar lectura y escritura. Algunas características de las prácticas de evaluación innovadoras*. *Lectura y vida* 22(4), 6-17.
- VYGOSTKY, L. S. (1988) *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Crítica - Grupo editorial Grijalbo, México.

De la Electrónica Industrial a la Mecatrónica: un cambio de paradigma en la enseñanza de la ingeniería

Roberto Barneda

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires,
Departamento de Ingeniería Electrónica y Departamento de Ingeniería Mecánica,
Medrano 951 (C1179AAQ) Buenos Aires, Argentina
e-mail: rbarneda@hotmail.com

Recibido el 27 de junio de 2008; aceptado el 18 de agosto de 2008

Resumen

La evolución histórica de los dispositivos de control utilizados en la electrónica industrial muestra que se requiere un enfoque sistémico para continuarla en su acelerado crecimiento. Este enfoque solo se logra mediante un cambio de paradigma en el proceso enseñanza-aprendizaje de la ingeniería, con el nacimiento de una nueva disciplina: la mecatrónica. En ella deben confluir conceptos de diseño provenientes de la ingeniería electrónica, la eléctrica y la mecánica, más saberes especializados de las ciencias básicas.

PALABRAS CLAVE: DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS DE CONTROL – MECATRÓNICA - LAZOS CERRADOS DE CONTROL

Abstract

The historical evolution of control devices applied by industrial electronics shows that a systemic insight is required in order to continue its accelerated growth. This insight can only be achieved by means of a paradigmatic change in the present engineering teaching-learning process, giving birth to a new discipline: mechatronics. Design concepts becoming from electronic, electric and mechanical engineering must merge with specialized knowledge from basic sciences.

KEYWORDS: CONTROL ELECTRONIC DEVICES – MECHATRONICS - CLOSED CONTROL LOOPS

Introducción

Desde un punto de vista metodológico es conveniente intentar definir una línea histórica directriz dentro la electrónica industrial, que nos lleva a la mecatrónica.

Para ello intentamos fijar en el pasado un punto de referencia de tal origen.

Analizando elementos, materiales y dispositivos usados en el pasado, es posible concluir que el verdadero hito que fija el inicio de la electrónica industrial, es la invención del relé (también denominado relevador, relay, relais, etc.). Su inventor, Joseph Henry, dio entonces en 1835, el puntapié inicial en la electrónica industrial.

Los comienzos y su evolución

El arranque fue entonces el relé, un dispositivo electromecánico, que funcionó como amplificador de corriente, en innumerables aplicaciones.

Era y sigue siendo un elemento seguro y confiable, que acepta que en los sistemas, el control y la potencia sean de características muy diversas, de distinto nivel y de distinto tipo de energía eléctrica, con aislamiento galvánico.

Ha tenido aplicaciones importantes a lo largo de su larga vida. Aún hoy sigue siendo un recurso válido, siempre que se requieran prestaciones fuertes, seguras y de un número de aplicaciones reducido.

Los contactores son una clara muestra de ello. Pudieron aceptar con gran ductilidad las condiciones de accionamientos seguros en baja tensión (menores a 48 V).

Un transformador reducía la tensión y permitía a los comandos que accionaban las bobinas de los contactores manejar las potencias a través de ellos en condiciones seguras para los operadores.

Esta condición de escalonar potencias con control de señales de corriente bajas (algunos mA) le permitió ser el elemento clave en el control industrial en los fines de la primera mitad del siglo XX.

Las válvulas manejaban alta tensión (aproximadamente 250 V), pero bajas corrientes, con lo cual la presencia del relé como elemento de interfase era clave a la hora de manejar las potencias eléctricas necesarias. Las demoras propias de los relés eran aceptadas dentro de las exigencias de los desarrollos de ese momento.

Luego, con el advenimiento del transistor, los paradigmas de la electrónica industrial cambiaron significativamente.

La alta tensión se cambió a baja, las bajas corrientes a moderadas y las grandes ventajas para el uso industrial de los semiconductores, fueron y seguirán siendo:

• la prolongada vida útil,
• la alta velocidad,
• el tamaño reducido y
• la alta capacidad para aceptar las vibraciones.

- la prolongada vida útil,
- la alta velocidad,
- el tamaño reducido y
- la alta capacidad para aceptar las vibraciones.

Sin embargo, las aplicaciones se masificaron solo luego de transcurrido un cierto tiempo, mientras la electrónica del semiconductor se veía obligada a dar acabadas muestras de su alta confiabilidad.

La seguridad de las operaciones industriales con aplicación masiva de la electrónica se vio demorada por la presencia de la neumática, que con sólo asegurar la calidad del aire como requisito importante, brindaba:

- seguridad,
- mantenimiento predictivo,
- condiciones de diseño sencillas,
- posible modulación y
- velocidades acordes con las velocidades de producción de la época

La electrónica presentaba, en cambio, condiciones erráticas producto de los ruidos electroelectrónicos presentes en los primeros equipos, que la hacían, en cierta medida, no confiable e insegura.

Muchos de los desarrollos industriales provenían y siguen llegando de la aeronáutica. Así, en la década de 1930, hace su aparición el diodo (no termoiónico), con lo cual cambia y se extiende la electrónica industrial, que se vuelve más común y difundida, pues hasta entonces estaba reservada para los grandes laboratorios de investigación.

El poder materializar fuentes de corriente continua de baja tensión y alta corriente fue un logro importantísimo para la aplicación de la lógica del relé.

El cambio fundamental en las fuentes de corriente estaba dado por:

- * manejo de altas corrientes y bajas tensiones
- * mínima disipación
- * mínimo volumen
- * muy buena respuesta a las vibraciones
- * larga vida de funcionamiento seguro
- * máxima condición de seguridad por:
 - el empleo de tensiones inferiores a los 48 v,
 - el aislamiento galvánico de los transformadores y
 - la baja temperatura de funcionamiento.

Se empiezan a utilizar los inductores (como filtros) en la industria y se logran niveles de corriente continua con muy bajo riple, cosa que hace a una significativa mejora de los equipos en lo referido a la inmunidad al ruido.

Es entonces cuando sobreviene la Segunda Guerra Mundial. Ésta trae aparejado un conjunto de evoluciones tecnológicas.

Quizás la más importante de todas, desde el punto de vista industrial, y en particular de la automatización, sean los sistemas de control de lazo cerrado.

Los sistemas de control de lazo cerrado ya existían, pero estaban referidos casi exclusivamente a fenómenos de tipo estratégico-militar. La necesidad de capacitar gente en este ámbito puso en evidencia la importancia que tenían los sistemas de control de lazo cerrado.

La diferencia fundamental entre el sistema de control de lazo abierto y el sistema de control de lazo cerrado, es que el segundo tiene capacidad de ir corrigiendo por sí el resultado, mientras que en el sistema de control de lazo abierto esas correcciones deben estar a cargo de un operador.

Indudablemente, estaba muy lejos todavía la industria de tener sistemas de control de lazo cerrado, pero ya empezaban a hacerse algunas tareas en las que se necesitaba garantizar de algún modo la reproducibilidad, esto es, que

hubiera muy baja dispersión entre un elemento producido y el siguiente, con lo cual para aquellas tareas de carácter repetitivo era imperioso manejar un concepto de sistema de control de lazo cerrado, ya que con ello se podía conocer y acotar cuál era la dispersión que tenía la producción.

En el año 1947 se inventa el transistor, y ello representa un quiebre conceptual.

Era un componente que, con tecnología diferente, relacionaba distintos niveles de corriente, similar a lo realizado por el relé, pero añadiendo:

- mayor velocidad,
- mayor duración,
- menor espacio,
- muy baja disipación y
- muy buena respuesta a las vibraciones.

Simultáneamente, una alta confiabilidad se lograba con:

- buena calidad de la alimentación (CC con muy bajo riple),
- muy buen control de la temperatura,
- mucha limpieza del ambiente y
- mucha sensibilidad de parte del personal de mantenimiento.

Fue un cambio fundamental en los paradigmas de la electrónica industrial. Ahora se podían hacer muchas cosas en un espacio reducido y con un precio mucho menor que utilizando válvulas electrónicas, que además del alto costo, conllevaban una limitación fundamental para todo el hecho productivo, la del bajo número de horas de servicio. Esto obligaba a tener una rutina permanente de mantenimiento para reemplazar a las válvulas, que al cabo de un puñado de horas de servicio habían perdido su capacidad.

Quizás ésta sea la diferencia fundamental entre un laboratorio o el hogar y la industria. Tanto en el hogar como en el laboratorio, el número de horas de uso que se le da a un equipo es limitado; sin embargo, en la industria se requiere que los equipos sean capaces de trabajar durante las 24 horas durante periodos prolongados.

Este hecho era fundamental después de la Segunda Guerra Mundial, pues el desabastecimien-

to era importante, con lo cual la demanda era grande. También había poca mano de obra disponible y lo importante era que esa mano de obra estuviera dirigida a realizar funciones que sólo el hombre podía efectuar y que todas aquellas tareas de tipo rutinario o repetitivo, fueran asignadas a los sistemas de control.

Ya en el año 1970 la electrónica comienza a presionar severamente con los conceptos de integración. Aparecen entonces varios componentes integrados, esencialmente lineales, entre ellos:

- la fuente regulada de tensión,
- el temporizador de precisión y
- el amplificador operacional.

El amplificador operacional (AO), resulta de gran importancia, porque permitía de algún modo disponer de todas aquellas funciones matemáticas que al diseñador se le ocurría o necesitaba utilizar.

El amplificador operacional era así la materialización de un dispositivo de características que por cierto fueron dadas por matemáticos y físicos del momento, pero que cuando se le aplicaban las señales electrónicas, el dispositivo respondía dando los resultados previstos.

Para su uso era necesario en aquel entonces manejar dos fuentes: una positiva y otra negativa. Pero todo eso se fue transformando y evolucionando hasta llegar a la condición actual. Luego hacen su aparición las primeras series lógicas DDL; DTL; TTL. Este concepto de integración está asociado con un interés por una indicación con menor error que el de los instrumentos analógicos, que debía ser leída por un operador, concepto fuertemente limitador.

En la década del '60 aparecen tímidamente los instrumentos digitales, que se quedan con el mayor porcentaje del mercado del instrumental electrónico ya en el 1980. A partir de entonces, a los instrumentos analógicos sólo le quedan aplicaciones que permiten visualizar la lectura desde una forma relativa.

El instrumento analógico que, desde 1900 con el instrumento de D'Arsonval, había permitido medir distintos parámetros, cae en desgracia, pues no permitía almacenar la información obtenida en forma digital.

La alta capacidad de los nuevos circuitos integrados para transformar señales analógicas en digitales y una mejora sustantiva en los métodos de integración permiten, aún hoy, una alta y permanente evolución de la electrónica digital.

En los años '80 ya no podía pensarse en la posibilidad de una industria sin electrónica y aparece la fuerte vinculación entre la industria de la electrónica y la eléctrica.

La electrónica ha desplazado a la eléctrica en toda el área de control, aunque la eléctrica sigue siendo la rama de ingeniería que domina la potencia.

Nos estamos acercando a los años 90, fines del siglo XX, y nos encontramos con un dispositivo que en sí mismo es un gran sistema de control de lazo cerrado pero de dimensiones reducidas, y que además tiene la posibilidad de calcular, corregir las distintas salidas dependiendo de qué señales sean las que están comprometidas y de acuerdo con una programación previamente definida. Ha nacido el micro controlador. Se difunde velozmente, tan rápidamente que hoy ya están disponibles los calculadores incorporados a los sistemas. Éste es quizás el hecho más sorprendente que se ha producido en el marco de la evolución de la electrónica.

Un paradigma distinto

Hay un fuerte cambio de paradigma y se modifica la electrónica de la exactitud por la electrónica de la incertidumbre; esto conlleva algo fundamental: que dejan de existir en su mayoría los ajustes de tipo mecánico-eléctrico, para aparecer valores conocidos con una determinada incertidumbre que se incorporan como información al microprocesador de modo tal que éste, mediante su herramienta matemática de cálculo, realice los ajustes necesarios como para que la señal de salida satisfaga las condiciones de la especificación.

Como no hay elemento mecánico alguno que pueda ser afectado por la vibración o por el simple paso del tiempo, estos sistemas se vuelven hoy más confiables.

Así también se reducen fuertemente los costos de mantenimiento, por no tener que ser recorrido el instrumental para su calibración.

A este paradigma nuevo hemos llegado luego de recorrer el camino cuyos principales hitos, señalados por la incorporación de nuevos dispositivos, resumimos en el Apéndice.

Un cambio de paradigma en la enseñanza

Este recorrido acelerado, a vuelo de pájaro, señalando los emergentes más relevantes entre los dispositivos desarrollados y aplicados por la electrónica industrial en poco más de un siglo, ahora nos presenta un desafío en la enseñanza de grado de la ingeniería.

Para que la relación eléctrica-electrónica y mecánica sea un todo, esto es, es necesario pensar que estamos frente a una nueva disciplina integral, que hoy nos convoca: la mecatrónica.

Se trata de un concepto sistémico fundamental. No se puede asegurar un comportamiento electrónico ó eléctrico o mecánico preciso, si no se tiene pleno dominio de las incertidumbres de las tres disciplinas y la forma en que éstas interactúan con la incertidumbre de la salida.

Estas interrelaciones y los autocontroles nos acercan a los robots industriales, que chequean todos sus parámetros y realizan la tarea si se dan todas las condiciones establecidas. Hoy ya es común verlos en las terminales automotrices, donde las tareas rutinarias, riesgosas o inseguras están a cargo de estos dispositivos.

La evolución es de tal magnitud que estos sistemas se auto-chequean y, si se detectan fuera de especificación, dejan de realizar la tarea, dando lugar al sistema de relevo (o stand by) al que están acoplados, y dando aviso al pequeño ejército de ingenieros electrónicos y mecánicos que acuden a su llamado. La electrónica del microprocesador les ha permitido a estos robots ser flexibles, esto es, introducir cambios en las operaciones a realizar según el elemento entrante al sistema.

Pero ¿de qué depende el buen desempeño de estos sistemas?

de la ingeniería electrónica,
de la ingeniería eléctrica y
de la ingeniería mecánica.

Ya no se puede hablar de sistemas abiertos. Como consecuencia, debemos hablar de una

nueva disciplina que englobe integral y coherentemente los conocimientos comunes y no comunes de las disciplinas tradicionales: LA MECATRÓNICA.

Esta nueva forma de ver la ingeniería implica que se debe nutrir a los nuevos involucrados con ella de conocimientos esenciales para llevar adelante su cometido.

Deben conocer en profundidad sobre las fuentes energéticas:

- naturales
- mecánicas
- eléctricas
- fluídicas

Deben dominar las ciencias básicas:

- Matemática
- Física
- Química

Deben ser capaces de vincular las distintas ciencias y disciplinas de modo tal de obtener el mejor rendimiento energético, flexibilidad operativa y eficiencia económica.

La creatividad debe estar siempre accesible para poder resolver los distintos problemas que se plantean en la resolución de desafíos crecientes por los cambios de las tecnologías del entorno.

ceder a estos nuevos conocimientos pone al hombre en una posición de avanzada para resolver las complejas cuestiones técnicas que los nuevos tiempos imponen.

Conclusión

Para abordar con éxito esta nueva disciplina: la Mecatrónica, es imprescindible asegurar un conocimiento muy acabado de las ciencias básicas.

Es posible que se requiera una formación especial para poder abordar los temas de especialización de las disciplinas como Mecánica, Electrónica y Eléctrica, no ya como entidades individuales, sino desde un punto de vista sistémico. Una formación de postgrado puede completar la formación de estos nuevos ingenieros, que serán sin duda los nuevos artífices de los futuros logros ingenieriles para los años venideros.

APENDICE

GRANDES HITOS DE LA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

• el relé	1835 - continúa
• el diodo rectificador no termoiónico	1930 - continúa
• los sistemas de control a lazo cerrado	1942 - continúa
• el transistor	1947 - continúa
• el amplificador operacional	1960 - continúa
• la fuente regulada de tensión	1962 - continúa
• las familias lógicas	1965 - continúa
• el temporizador de precisión	1969 - continúa
• los instrumentos digitales	1970 - continúa
• el montaje superficial	1970 - continúa
• cambio de paradigma en el SI	1973 - continúa
• programador lógico controlable	1980 - continúa
• microcontrolador	1985 - continúa
• fuentes conmutadas	1987 - continúa
• nueva serie de sensores	1987 - continúa
• trazabilidad - incertidumbre	1993 - continúa
• robots industriales	1995 - continúa
• nanotecnología	1997 - continúa
• mecatrónica	2000 - continúa

Las fechas indicadas son tentativas, pues depende del país y de la puesta en marcha en forma masiva. La evolución depende de las necesidades de las industrias y de los objetivos-país que las políticas de Estado de cada nación contemplan para su terruño.

INSTRUCCIONES PARA LA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS

El presente instructivo reúne las condiciones generales de presentación y formato e información general para todos los interesados en remitir sus contribuciones.

Presentación de los textos

Los trabajos, en versión impresa (original y copia), podrán ser remitidos a los miembros del Comité Editorial:

Lic. Miguel Languasco
Dr. Isaac Marcos Cohen

Facultad Regional Buenos Aires
Secretaría Académica
Medrano 951
(C1179AAQ) Buenos Aires, República Argentina

Recomendaciones generales

Proyecciones es una publicación destinada a un público amplio, con formación específica en diferentes campos del conocimiento, que se distribuye en diversos países de habla castellana. Por tal razón, se recomienda a los autores preservar la pureza y la claridad idiomática de sus textos y evitar el uso de vocablos de uso corriente en disciplinas particulares, pero no conocidos (o con significado distinto) en otros ámbitos. Asimismo, no deberán emplearse palabras derivadas de traducciones incorrectas (por ejemplo, asumir en lugar de suponer, o librería por biblioteca) o pertenecientes a otros idiomas, salvo cuando no existan en castellano equivalencias válidas, o cuando se refieran a técnicas o procesos conocidos por su denominación en la lengua original.

Se recomienda también evitar el uso indiscriminado de mayúsculas cuando se haga mención sustantivos comunes, como por ejemplo elementos químicos o técnicas particulares.

Es conveniente, en todos los casos, efectuar una adecuada revisión ortográfica y de sintaxis de los textos antes de su envío.

Pautas específicas

Se deberán contemplar las siguientes pautas:

La presentación corresponderá a un formato adecuado para hojas tamaño A4 (21 cm x 29,7 cm) escritas con interlineado simple, conservando los siguientes márgenes: superior e inferior, 2,5 cm; derecho e izquierdo, 3 cm; encabezado y pie de página, 1,2 cm. La fuente escogida es Tahoma, tamaño 12. Se recomienda muy especialmente a los autores respetar esta pauta, pues las conversiones posteriores desde otras fuentes, diferentes a la mencionada, pueden representar la distorsión o la pérdida de caracteres especiales, como las letras griegas. Se deberá emplear sangría en primera línea de 1 cm y alineación justificada en el texto.

En la página inicial se indicará el título en negrita, centrado y con mayúscula sólo en la primera letra de la palabra inicial; en otro renglón, también en negrita, iniciales y apellido del (de los) autor(es) y, finalmente, en itálica, el nombre y la dirección postal de la(s) institución(es) a la(s) que pertenece(n), junto con la dirección de correo electrónico del autor principal.

A continuación, dejando tres espacios libres, el texto, en espacio simple, comenzando con un resumen de 50 a 100 palabras, en castellano e inglés, también en negrita y con tamaño de fuente 10. Luego del resumen, deberán consignarse las palabras clave que orienten acerca de la temática del trabajo, hasta un máximo de cinco. Asociaciones válidas de palabras (por ejemplo, contaminación ambiental, fluorescencia de rayos X) se considerarán como una palabra individual.

Se aconseja ordenar al trabajo de acuerdo a los siguientes ítems: Introducción, Parte Experimental, Resultados y Discusión, Conclusiones, Agradecimientos (si existieren) y Referencias. Cada uno de ellos tendrá categoría de título y deberá ser presentado en forma equivalente al título original del trabajo, en negrita y centrado, mientras que los subtítulos se consignarán en el margen izquierdo y en negrita. Ninguno de estos ítems deberá ser numerado. La extensión del trabajo no podrá ser mayor que 20 páginas.

En hoja aparte se indicará el tipo de procesador de texto utilizado y la versión correspondiente.

Los autores deberán entregar un disquete conteniendo su trabajo y diagramado en la forma propuesta para la versión final impresa.

Tablas y Figuras

Las figuras deberán ser ubicadas en el texto, en el lugar más cercano a su referencia, con números arábigos y leyendas explicativas al pie. Las imágenes fotográficas deberán estar al tamaño 1.1 a 300 ppi, en formato tif, jpg o eps. Los gráficos o dibujos se presentarán, preferentemente, en vectores (formato .cdr o .ai); en el caso de estar presentados en forma de mapa de bits su resolución en 1.1 deberá ser mayor a 800 ppi. No podrán reproducirse figuras en color.

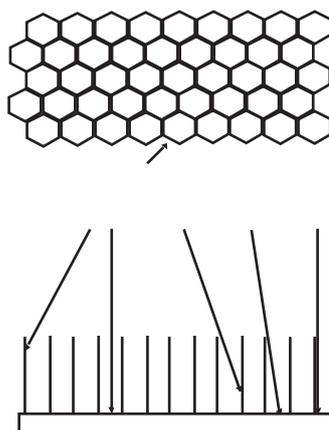


Figura 1. Ejemplo de ubicación de la figura y su leyenda explicativa (centrada, en negrita y fuente 10)

Las tablas se incluirán en el lugar más cercano a su referencia, con números arábigos y acompañadas con un título auto-explicativo en el encabezado.

Tabla 1. Ejemplo de formato para tabla y título (centrada, en negrita y fuente 10)

Magnitud	Condición A	Condición B
Magnitud A	1a	1b
Magnitud B	2a	2b

Agradecimientos

Los agradecimientos deberán ser escuetos y específicos, vinculados al trabajo presentado. Serán suprimidos los de naturaleza general o no aplicables a la contribución.

Referencias

Las referencias se consignarán en el texto indicando el apellido del autor (o primer autor, en trabajos de autoría múltiple) y el año de la publicación. Ejemplos: Gould (1958); Sah y Brown (1997); Probst y colaboradores (1997). Cuando la referencia se coloque a continuación de una oración completa en el texto, la forma indicada se convertirá en: (Gould, 1958). Las referencias múltiples se indicarán bajo un único par de paréntesis; ejemplo: (Sah y Brown, 1997; Probst y colaboradores, 1997). El ítem Referencias contendrá todas las citas consignadas en el texto, ordenadas alfabéticamente, tomando el apellido del primer autor. Los artículos incluidos en publicaciones colectivas deberán figurar en el orden: apellido e iniciales de todos los autores; entre paréntesis, año de publicación; abreviatura internacionalmente aceptada de la publicación; volumen; primera página del artículo. Las referencias a libros consignarán iniciales y apellido de todos los autores; título; página (si corresponde); editorial: Ejemplos:

GOULD, E. S. (1958) *Curso de Química Inorgánica*. Selecciones Científicas, Madrid, España.
PROBST, T.; BERRYMAN, N.; LARSSON, B. (1997) Anal. Atom. Spectrom. 12, 1115.
SAH, R.; BROWN, P. (1997) Microchem. J., 56, 285.

No deberán incluirse, bajo el ítem **Referencias**, citas bibliográficas no mencionadas específicamente en el texto del trabajo.

Mecanismos de Aceptación y Normativa General

Los trabajos serán revisados por reconocidos especialistas, designados por el Comité Editorial. El dictamen será, en cada caso: a) aprobado en su versión original; b) aprobado con pequeñas modificaciones; c) revisado, con necesidad de modificaciones significativas; d) rechazado. En los casos diferentes a su aprobación directa, los trabajos serán enviados a los autores. Cuando se trate de cumplir con modificaciones sugeridas por los árbitros, los trabajos serán sometidos a una nueva evaluación.

El envío de una contribución para *Proyecciones* supone que ésta no ha sido publicada previamente y, adicionalmente, la cesión de los derechos de publicación por parte de los autores. Cuando el trabajo ha sido ya presentado en una reunión científica (sin publicación de actas) o inspirado en una presentación de esta naturaleza, se aconseja citar la correspondiente fuente.

Doctorado, Maestrías y Carreras de Especialización

Doctorado en Ingeniería

Mención en Procesamiento de Señales e Imágenes

Maestría en Ingeniería Ambiental

Maestría en Ingeniería en Calidad

Maestría en Ingeniería en Sistemas de la Información

Maestría en Administración de Negocios

Maestría en Tecnología de los Alimentos

Maestría en Docencia Universitaria

Maestría en Gestión de la Educación Superior

Especialización en Ingeniería Clínica

Especialización en Ergonomía

Especialización en Preparación y Evaluación de Proyectos

Cursos de Posgrado

Dirección de Empresas

Automación Industrial

Higiene y Seguridad en el Trabajo

Generación de Empresas Innovadoras

Carreras de Grado

Ingeniería Civil

Ingeniería Eléctrica

Ingeniería Electrónica

Ingeniería Industrial

Ingeniería Mecánica

Ingeniería Naval

Ingeniería en Sistemas de la Información

Ingeniería Química

Ingeniería Textil

Ciclos de Licenciatura

Licenciatura en Ciencias Aplicadas

Licenciatura en Tecnología Educativa

Licenciatura en Gestión de la Producción Gráfica

**Proyecciones se terminó de imprimir en los talleres gráficos Forma Color
Impresores S.R.L. Camarones 1768 (C1416ECH),
Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina
Octubre de 2008**