

# TECNÉ, EPISTEME Y DIDAXIS

## TEA

### Revista de la Facultad de Ciencia y Tecnología

Investigación y experiencias didácticas en matemáticas, ciencias experimentales y tecnologías.  
Número 23, 2008. ISSN: 0121-3814.

Indexada en:

Índice Bibliográfico Nacional Publindex de Colciencias, categoría B  
Catálogo Latindex -Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Índice de Revistas de Educación Superior e Investigación Educativa, IRESIE  
Biblioteca digital OEI <http://www.campus-oei.org/oeivirt/>

**Oscar Armando Ibarra Russi**  
Rector

**Clara Inés Chaparro Susa**  
Vicerrectora Académica

**Gerardo Andrés Perafán Echeverri**  
Vicerrector de Gestión Universitaria

**Ricardo Wilches Rojas**  
Vicerrector Administrativo y Financiero

**Édgar Alberto Mendoza Parada**  
Decano Facultad de Ciencia y Tecnología

Director / Editor

**Magíster Rómulo Gallego Badillo**  
Profesor del Departamento de Química

Subdirectora

**Magíster Diana Lineth Parga Lozano**  
Profesora del Departamento de Química

**Magíster Julieth Martínez Castiblanco**  
Asistente Comité editorial

---

Universidad Pedagógica Nacional  
Fondo Editorial  
Santiago Silva Aponte  
Coordinador

Revista dirigida a investigadores, profesores  
y estudiantes de didáctica de las ciencias, las  
matemáticas y las tecnologías.

Universidad Pedagógica Nacional, 2008  
Facultad de Ciencia y Tecnología  
Calle 72 N.º 11-86, oficina B-223  
Fax: 5 94 18 94, ext. 413  
Bogotá, D. C., Colombia  
[www.pedagogica.edu.co](http://www.pedagogica.edu.co)  
[revistated@pedagogica.edu.co](mailto:revistated@pedagogica.edu.co)

Impreso en Editora Guadalupe, Bogotá, 2008

## **Comité Editorial**

- Magíster Royman Pérez Miranda**  
Profesor Departamento de Química
- Magíster Edgar Alberto Mendoza Parada**  
Decano Facultad de Ciencia y Tecnología
- Doctora Carmen Alicia Martínez Rivera**  
Universidad Distrital  
Francisco José de Caldas
- Magíster Juan Carlos Orozco Cruz**  
Profesor Departamento de Física
- Doctora Adriana Patricia Gallego**  
Universidad Distrital  
Francisco José de Caldas
- Magíster Leonardo Fabio Martínez**  
Profesor Departamento de Química
- Magíster Rosalba Pulido de Castellanos**  
Profesora Departamento de Biología
- Doctor Luis Bayardo Sanabria**  
Profesor Departamento de Tecnología
- Magíster Néstor Méndez**  
Profesor Departamento de Física
- Magíster Lola Constanza Melo Salcedo**  
Profesora Departamento de Biología
- Doctor Alfonso Claret Zambrano**  
Universidad del Valle
- Magíster Nubia Soler Álvarez**  
Profesora Departamento de Matemáticas
- Doctor Agustín Adúriz-Bravo**  
Universidad de Buenos Aires
- Doctor Mario Quintanilla Gatica**  
Pontificia Universidad Católica de Chile
- Doctor Roberto Figueroa Molina**  
Universidad del Atlántico
- Doctora Fanny Angulo Delgado**  
Universidad de Antioquia

## **Comité asesor**

- Doctor Andoni Garritz Ruiz**  
Universidad Nacional  
Autónoma de México
- Magíster María Laura Eder**  
Universidad de Buenos Aires (Argentina)
- Doctor Eduardo González**  
Universidad Nacional de Córdoba  
(Argentina)
- Doctora Julia Salinas**  
Universidad de Tucumán (Argentina)
- Doctor Pedro da Cunha Pinto Neto**  
Universidad Estatal de Campinas (Brasil)
- Doctor Bruno D' Amore**  
Universitá di Bologna (Italia)
- Doctor Pedro Membuela**  
Universidad de Vigo (España)
- Doctor Antonio Cachapuz**  
Universidad de Aveiro (Portugal)
- Doctora Anna María Pessoa de Carvalho**  
Universidad de Sao Paulo (Brasil)
- Magíster Gloria García de García**  
Profesora Departamento de Matemáticas
- Doctora Graciela Utges**  
Universidad Nacional de Rosario  
(Argentina)
- Doctor Jaime Sánchez**  
Universidad de Chile
- Doctora Lilia Reyes Herrera**  
Profesora Doctorado en Educación
- Doctor Fidel Antonio Cárdenas Salgado**  
Universidad Pedagógica Nacional
- Magíster Dino Segura R.**  
Escuela Pedagógica Experimental  
(Colombia)
- Doctor Roberto Nardi**  
Universidad Estatal Paulista,  
Campus de Bauru (Brasil)
- Magíster Hernán Díaz Rojas**  
Profesor Departamento de Matemáticas
- Doctor Daniel Gil Pérez**  
Universidad de Valencia (España)
- Doctora Amparo Vilches**  
Universidad de Valencia (España)
- Doctor João Batista Siqueira Harres**  
Centro Universitario Univates (Brasil)
- Doctor Rafael Porlán Ariza**  
Universidad de Sevilla (España)
- Doctor Fernando Bastos**  
Universidad Estatal Paulista,  
Campus de Bauru (Brasil)

## ■ C o n t e n i d o

---

### **Editorial**

**4**

### **Estudio de la energía y el medio ambiente: una propuesta didáctica computarizada**

Edwin Francisco Bonza Camargo  
Flavio Humberto Fernández Morales  
Julio Enrique Duarte

**7**

### **Razonamiento cinemático en mecanismos eslabonados a través de Ambientes computacionales**

Víctor E. Ruiz Rosas  
Nilson G. Valencia Vallejo

**16**

### **Modelos de enseñanza y modelos de comunicación en las clases de ciencias naturales**

Laura Levin  
Araceli Marcela Ramos  
Agustín Adúriz-Bravo

**31**

### **Una construcción histórico-epistemológica del modelo del octeto para el enlace químico**

Sulma Urbina Duarte  
Rómulo Gallego Badillo  
Royman Pérez Miranda  
Adriana Patricia Gallego Torres

**52**

### **Una revisión histórica del concepto de calor: algunas Implicaciones para su aprendizaje**

Francisco Javier Camelo Bustos  
Sindy Julieth Rodríguez Sotelo

**67**

### **¿Enseñanza de las ciencias por disciplinas o interdisciplinariedad en la escuela?**

Steiner Valencia Vargas  
Olga Méndez Núñez  
Gladys Jiménez Gómez

**78**

### **La obra de Lavoisier como un modelo para la historia de las ciencias**

Julio Alejandro Castro Moreno

**89**

### **Algunos puntos básicos en torno al darwinismo y antidarwinismo, para tratar en un currículo de ciencias naturales**

John Richard Jiménez Peñuela

**107**

### **La enseñanza de la química desde el modelo integrado de aprendizaje profundo MIAP. Fortalezas y debilidades**

Johanna Patricia Camacho González

**115**

### **Tablas de contenido de la revista Tecné, Episteme y Didaxis Ediciones 12 a 20**

**126**

## Sobre la filosofía de la química

Kant dijo que en el mundo hay dos cosas que nunca dejarán de provocar la admiración y la reverencia de la humanidad: nuestra moralidad y el cielo estrellado sobre nosotros. Pero cuando pensamos acerca de la naturaleza de los elementos y la tabla periódica debemos añadir una tercera cosa, es decir, la naturaleza de los elementos que hemos descubierto alrededor nuestro.

**D. Mendeleiev**

La ciencia se divide en dos categorías: física y filatelia.

**E. Rutherford**

En los últimos años las aportaciones provenientes de las ciencias cognitivas y la filosofía e historia de la ciencia han permitido construir un mínimo pero certero consenso sobre otras formas de enfrentar los procesos de aprendizaje.

Para replantear la enseñanza de la ciencia es indispensable aspirar a tener más y mejores docentes. Por ello no es suficiente profundizar en el conocimiento específico de la asignatura correspondiente, como sistemáticamente se ha hecho y que sin duda es fundamental. Es necesario, además, incorporar la reflexión sobre la estructura de la ciencia y el papel que ésta ha jugado en nuestra sociedad. Es necesario discutir acerca de su exponencial crecimiento (por ejemplo, la química es la ciencia más productiva, desde hace décadas se publican más artículos de química que de las demás ciencias juntas), por ello hay que escoger de entre la enorme cantidad de información generada aquella que permita vertebrar un mejor entendimiento del futuro. Aquella que permita desarrollar las competencias requeridas en un mundo cada vez más cambiante. La historia en general y la de las ciencias en particular nos ha enseñando que las que fueron respuestas correctas para preguntas de su tiempo, años después fueron consideradas erróneas. Los héroes se convirtieron en villanos, y viceversa. La filosofía nos indica que no hay verdades absolutas.

La química, tal como la conocemos hoy, es resultado de una multitud de herencias que, concretadas en oficios, influyeron en la vida cotidiana de todas las culturas. No deja de ser sorprendente que prácticas tan diferentes como la del herrero -y la metalurgia-, el curandero -y la farmacia-, el alfarero -y la cerámica-, el panadero -y la biotecnología-, hayan podido estar reunidas y terminar por fundirse en un campo común: la química, donde se estudia, se practica y se transmite cómo transformar la materia. Pero esto se lleva a cabo con un método particular, con una

forma específica de medir y con un lenguaje propio. El reciente conocimiento de lo anterior no ha permeado aún en la comunidad académica que sigue pensando la química de acuerdo con la visión lógico positivista, como una ciencia reducida. Y así la enseñamos desde la escuela básica hasta la universidad, y así fracasamos.

La química tiene sus particularidades que deben ser reconocidas y enseñadas como tales. Por ejemplo, el intento de reducir la química a la física, en particular a la mecánica cuántica, ha sido imposible. La química no puede deducirse de la mecánica cuántica, entre otros muchos factores, por la ausencia de resolución del problema de varios cuerpos, y la química es, finalmente, el resultado de la interacción sincronizada de muchos cuerpos.

Según el filósofo de la ciencia E. Scerri, la mejor configuración electrónica obtenible por cálculos cuánticos no da cuenta de las configuraciones electrónicas reales de los átomos obtenidas espectroscópicamente, por lo cual la tabla periódica no puede ser predicha por la mecánica cuántica. La química considera macrosistemas que en última instancia están compuestos de microcomponentes que pueden ser descritos (cuando están aislados) por la mecánica cuántica; sin embargo, el conocimiento “completo” de estos microcomponentes no permite conocer las propiedades del macrosistema. El conocimiento “completo” de un átomo de hidrógeno y otro de oxígeno no nos dice nada de las propiedades del agua líquida. Así, un ejemplo de pensamiento reduccionista frecuente en el ámbito escolar es la siguiente afirmación: “H<sub>2</sub>O es agua”. Sobre ésta, muchos han discutido desde diversos puntos de vista y alguien tan alejado de la química como Chomsky ha indicado que el té y el Sprite son tan agua como lo es el agua proveniente de la “llave”, ya que en las tres mezclas hay cantidades semejantes, tanto de H<sub>2</sub>O como de particulares “impurezas” (por no considerar, aunque a menudo se olvida, la diversa composición isotópica y iónica del agua). Una mirada reductiva asegura que H<sub>2</sub>O es agua. ¿Puede esta fórmula explicar las propiedades macroscópicas del agua? ¿Puede un cálculo mecánico-cuántico-relativista hacerlo? (Por ejemplo, en lo referente al té, su “alto” punto de ebullición, la presencia simultánea de un líquido y un “vapor”, su capacidad de disolver una determinada cantidad de azúcar, la capacidad de extraer una específica cantidad de compuestos –cafeína, flavonoides, sales de aluminio, entre muchos otros– y que en esa concentración lo hacen identificable con el sabor y el olor del té). Hoy, con un enorme desarrollo en nuestra capacidad de cálculo, la respuesta sigue siendo como ayer: no.

En esta misma línea de pensamiento, cuestionando la visión reducida de la química (a la que tanto aportó Rutherford), puede afirmarse que tampoco hay sal en la salada agua del mar, o preguntarse: si la ley periódica es una ley de la misma importancia que las leyes de Newton. Sobre esta pregunta Scerri argumenta que el arreglo de los elementos en la tabla periódica dio lugar a varias de las predicciones más importantes en la historia de la ciencia. Mendeleiev anticipó las propiedades de los entonces desconocidos elementos galio, germanio y escandio. Este tipo de predicciones no podrían hacerse hoy empleando únicamente la mecánica cuántica. Tampoco el que hoy (1 de marzo del 2008) se hayan identificado 34 062 816

sustancias (y van añadiéndose aproximadamente 4 000 cada día), de las cuales 19 208 905 se comercializan.

A pesar de la larga historia de la química, su filosofía es prácticamente una nueva actividad intelectual. Solo hasta hace poco más de una década aparecieron las primeras revistas especializadas en el tema (*Hyle y Foundations of Chemistry*) y unos pocos libros, todos ellos en inglés, en los cuales se reflexiona sobre muchos asuntos, uno de ellos es el de la educación. La filosofía de la química es un área en construcción muy importante para entender qué estamos enseñando y por qué lo hacemos... ¡construyámosla también en español! ▲

Editorialista invitado

**José Antonio Chamizo**

Facultad de Química  
Universidad Nacional Autónoma de México  
jchamizo@servidor.unam.mx

# Estudio de la energía y el medio ambiente: una propuesta didáctica computarizada

Edwin Francisco Bonza Camargo  
Flavio Humberto Fernández Morales  
Julio Enrique Duarte\*

Artículo recibido: 26-11-2007 y aprobado: 30-4-2008

## Study of the energy and environment: a computerized didactic proposal

■ **Resumen:** El objetivo de este proyecto es desarrollar un material educativo computarizado, MEC, para la enseñanza de la energía; contribuyendo de esta manera a solucionar una de las grandes falencias del sistema educativo colombiano: la falta de material didáctico en las aulas de las escuelas y colegios. Además, con la aplicación de este material se aporta a la creación de conciencia en la población escolar hacia un uso más racional de la energía en pro del medio ambiente. El software se diseñó con base en el manejo de lecturas, imágenes, sonidos, videos y animaciones que permiten al estudiante aprender y conceptualizar con mayor facilidad sobre un tema tan importante como lo es el de los recursos energéticos renovables y no renovables, abarcando temas tan importantes como la energía solar térmica, que es una posible solución a la crisis energética que se avecina. También, resalta la importancia que tiene la búsqueda de nuevas fuentes de energía que no degraden el medio ambiente.

**Palabras clave:** Software educativo, educación, energía, medio ambiente, didáctica.

■ **Abstract:** This project is aimed at developing a Computerized Teaching Software (CTS) for the teaching of energy, contributing in this way to solve one of the biggest problems in the Colombian educational system: the lack of didactic material for schools. The design and implementation of this kind of software, helps teachers to make students aware of the proper use of energy in pro of the environmental care. The software was designed based on an exploratory work that involves readings, images, sounds, video, and animations which allow the students learn and conceptualize easily about renewable and non – renewable energy resources. It also takes into consideration sun energy as a possible solution for a future energy crisis, emphasizing the importance of looking for new energy sources that do not represent damage for the environment.

**Key words:** Educative software, education, energy, environment, didactics.

\* Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad Seccional Duitama, Boyacá, Colombia. efraboca@gmail.com; flaviofm1@gmail.com; julioenrique1@gmail.com

### Introducción

La educación de hoy se enfrenta a una reorganización, la cual se refleja en el gran deseo de cambio e innovación. Por esta razón la actividad educativa necesita de herramientas que permitan métodos y formas flexibles para la comprensión de los conocimientos e instrumentos para afianzar los conocimientos adquiridos. El sistema educativo involucra principalmente dos agentes: el educando y el educador; estos elementos deben estar relacionados entre sí, buscando como objetivo verificar los procesos y organizar la aprehensión y aplicación de los conocimientos.

La pedagogía moderna implica que el aprendizaje debería ser experimental y útil para la vida cotidiana de los estudiantes. Además, los métodos utilizados deben permitirle actuar de forma autónoma en el proceso de apropiación del conocimiento. Los materiales didácticos deben ser manipulados directamente para lograr un aprendizaje individual de acuerdo con las características únicas de cada persona, a la vez que se refuerza la experimentación como base para el conocimiento científico (Feynman, 1987).

Con el uso de las nuevas tecnologías de información y comunicación, TIC, aplicadas a la educación se pretende rescatar toda una serie de valores perdidos del quehacer del docente (Bartolomé, 1994), en la que el maestro formaba y educaba a partir de los conocimientos. El uso de las nuevas tecnologías en el campo educativo, producto de la era informática, se suma a este nuevo proceso con el objetivo de personalizarla.

Durante mucho tiempo, los métodos de instrucción más utilizados fueron las clases presenciales y el estudio de textos.

Sin embargo, con el desarrollo de las TIC surge la posibilidad de utilizar los programas informáticos en el terreno educativo para la enseñanza como una nueva forma de aprendizaje. El *software* educativo se define genéricamente como cualquier programa computacional, que sirve de apoyo al proceso de enseñar, aprender y administrar el conocimiento.

En forma restringida, el *software* educativo es un producto tecnológico que se utiliza en contextos educativos, esté o no específicamente diseñado para tal fin, concebido como uno de los materiales que emplean quien enseña y quien aprende para alcanzar determinados propósitos. Además, es un medio de presentación y desarrollo de contenidos educativos, como lo puede ser un libro o un video (Morales, 2004).

En este trabajo se plantea el desarrollo de un material educativo computarizado, MEC, para la enseñanza de temáticas medioambientales. Específicamente, el MEC presenta información sobre la historia, aplicaciones, tipos, ventajas y recomendaciones para un uso racional de la energía. De esta manera se busca formar personas comprometidas en minimizar problemas como el calentamiento global, el efecto invernadero y la escasez de las fuentes de energía no renovables (Cardozo, Duarte y Fernández, 2005). La temática se escogió de la necesidad detectada por un estudio realizado en algunas instituciones de educación básica acerca de los diferentes métodos y didácticas utilizadas por los docentes de las áreas de ciencias (Angarita y Hillon, 2005). Los resultados arrojados evidenciaron la deficiencia de los estudiantes en conceptos científicos, lo cual se verifica también en las bajas



calificaciones que periódicamente se registran en las Pruebas Saber publicadas en la página Web del Ministerio de Educación Nacional, MEN: <http://menweb.mineduacion.gov.co>.

Con base en lo anterior ha podido establecerse que en la educación básica, hasta el momento, no se concientiza al niño de la importancia que tiene el hacer un uso racional de los recursos naturales, como carbón, petróleo, gas natural y uranio, ya que estos son recursos que mediante procesos físicos y/o químicos proporcionan energía, sin tener en cuenta que están agotándose sus reservas; he aquí la importancia de concientizar al estudiante de que existen otras fuentes de energía, que permanecen constantes en el hábitat y son inagotables. Un ejemplo muy claro de estas fuentes de energía es el sol, fuente de energía diaria que podría aprovecharse mejor. Con la aplicación de este material se busca que el usuario se motive a hacer un uso racional de la energía.

A continuación se describe la metodología utilizada para el desarrollo del software, su estructura y principales características. Igualmente se presentan algunos resultados de la utilización del MEC por parte de los estudiantes.

### **Metodología y desarrollo**

Para contribuir a la solución de la problemática descrita, se elaboró un MEC multimedial en energía. Se trata de una herramienta informática desarrollada para una población específica de niños y adolescentes de educación básica con edades entre 7 y 14 años, para quienes se prevé un nuevo tipo de experiencia educativa que fortalezca el aprendizaje en ciencia y tecnología.

En este trabajo se tuvo en cuenta la metodología propuesta por Galvis (1993), quien plantea que el desarrollo del conocimiento se expresa de manera vivencial, donde el intérprete pueda interactuar con la aplicación de manera visual (método algorítmico) o mediante el proceso de aprestamiento e interacción (método heurístico).

Durante la generación del *software* se siguieron las etapas típicas para el desarrollo de materiales educativos: análisis, diseño, prueba, ajuste e implementación (Bartolomé, 1994). Se hizo especial énfasis en la solidez del análisis como punto de partida, en el dominio de teorías sustantivas sobre el aprendizaje y la comunicación humana como fundamento para el diseño de los ambientes educativos computarizados y en la evaluación de cada etapa del proceso para lograr los resultados esperados. Además, se contó con una documentación adecuada y suficiente de la actividad en cada etapa para facilitar el mantenimiento y actualización del material.

Un MEC debe ser ameno, de fácil acceso, lleno de animación y colorido, con la información estructurada de tal manera que motive al estudiante a profundizar en la construcción de su propio conocimiento (Gómez *et ál.*, 2006).

Para cumplir este objetivo el *software* desarrollado cumple los siguientes requisitos:

Orden de complejidad creciente: el estudiante navega en el MEC adquiriendo información de acuerdo con sus conocimientos previos, intereses, habilidades y perspicacia.

Evaluación: el MEC ofrece un método de evaluación interactivo, gradual, acumulable, que permite al estudiante

confrontar su progreso en la temática de estudio. Busca reducir el sentido de fracaso para que los usuarios se formen una imagen positiva de sí mismos, a la vez que favorece su desarrollo intelectual.

En el manejo del programa no se usan periféricos especiales, como teclado de conceptos y conmutadores, y si no hay impedimento motriz, es preferible el uso del ratón al del teclado ya que para la navegación se han habilitado las teclas más llamativas.

El programa está abierto para que el profesor pueda introducir sus propios dibujos, textos y sonidos. Los profesores, en muchas ocasiones, se encuentran con la necesidad de adaptar los materiales existentes a su realidad diaria y a las necesidades individuales que presentan los estudiantes.

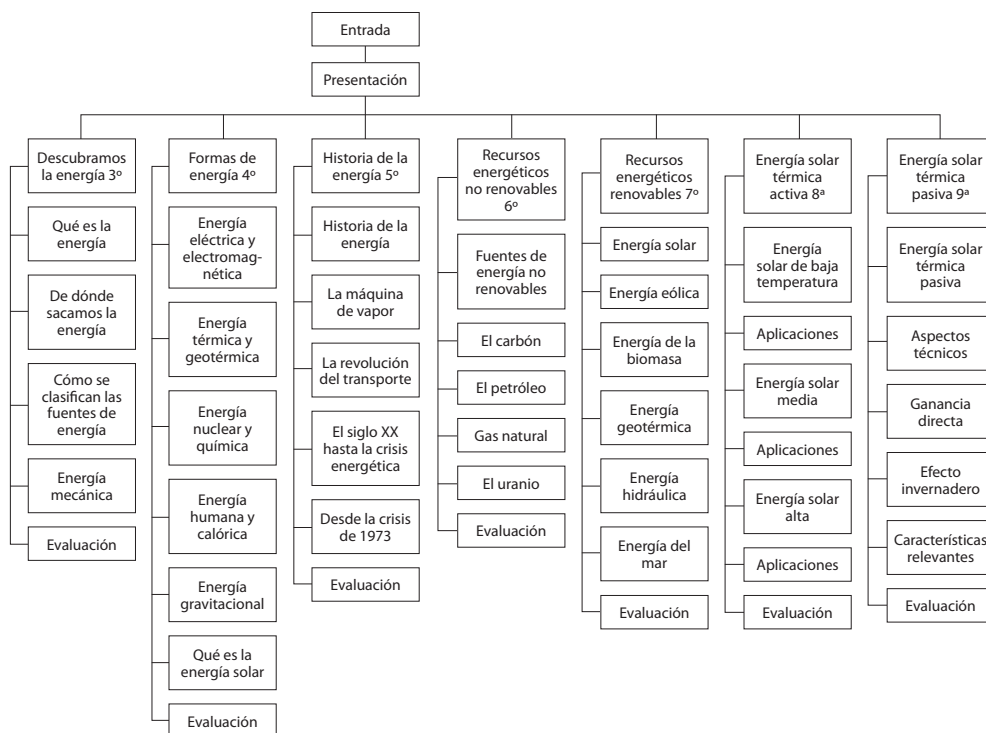
Desde el punto de vista técnico, para el desarrollo del *software* se utilizó: Microsoft Windows como plataforma, Microsoft Visual Studio Versión 6.0 como lenguaje de programación y Microsoft Access como administrador de base de datos para el desarrollo del formulario de evaluación.

En el desarrollo del *software* se optó por utilizar Microsoft Visual Basic 6.0, programa que permite interfaz gráfica de usuario (GUI), la cual contiene varias instrucciones, funciones y palabras clave relacionados con la interfaz gráfica de

Windows. El lenguaje de programación Visual Basic incluye aplicaciones para programar en Excel, Access e Internet; su objetivo es crear un programa especial para los diferentes formatos de la aplicación cliente-servidor (Gary, 1998).

Para el manejo de la base de datos de la evaluación se utilizó el programa Microsoft Access, que permite recopilar cualquier tipo de información para su almacenamiento. Access permite colocar un archivo BD para compartir y presentar información todo a través del manejo de tablas discretas relacionadas con la aplicación de campos comunes. En el desarrollo del *software* educativo se encargará de la base de datos para el formulario de la evaluación.

En la figura 1 se muestra la organización del tema de energía distribuido en cada uno de los niveles de formación considerados. La aplicación propuesta ofrece la estructura teórica del tema de energía relacionando elementos comunes en cada grado al momento de trabajar y evaluar los temarios propuestos. Estos componentes se refieren a los aportes teóricos, criterios y orientaciones que sustentan la enseñanza de este tema, específicamente referida a la aplicación de los conceptos en la enseñanza y aprendizaje de la energía y sus aplicaciones.



**Figura 1.** Diagrama lógico de organización del MEC en energía.

La temática a abordar en la enseñanza de la educación básica primaria para el estudio de la energía es: descubramos la energía, formas e historia de la energía, teniendo presente que los grados escogidos para la enseñanza de estas temáticas son tercero, cuarto y quinto. Dentro de los mismos temas encontraremos contenidos como: qué es energía, de dónde sacamos la energía, cómo se clasifican las fuentes de energía, energía mecánica, eléctrica, electromagnética, térmica, geotérmica, nuclear, química, humana, calórica, gravitacional y solar, la máquina de vapor, la evolución del transporte, la crisis energética.

Para el grado sexto se involucran el estudio de los recursos y fuentes de las energías renovables. El estudio de ener-

gías renovables como la solar, la eólica y la biomasa, entre otras, son temas a tratar en el grado séptimo de educación básica secundaria. La conceptualización y aplicación de la energía solar térmica activa se ilustra en grado octavo. De igual forma se estudia la energía solar térmica pasiva junto con sus características y aspectos técnicos en el grado noveno, siendo estos los últimos temas tratados en el *software*. Es de resaltar que la evaluación de las temáticas impartidas en cada grado de formación se estableció al final con el propósito de valorar la información y el impacto formativo que se obtiene con la aplicación del MEC en la enseñanza de la energía y el medio ambiente.

## Resultados

Este *software* se creó como ayuda educativa para facilitar la identificación de los conceptos de energías renovables, energías no renovables, energía solar térmica e historia de la energía. El prototipo del MEC fue diseñado para una población objetivo comprendida entre estudiantes de los grados tercero a noveno de educación básica; esto no significa que cualquier otra persona no pueda usarlo. El programa se caracteriza por ser un aplicativo de manejo lineal y por el caudal de información que puede proporcionar. Lo anterior convierte a este programa en una herramienta propicia para apoyar el proceso enseñanza-aprendizaje en los niños y niñas.

Al pasar de la pantalla de inicio se continúa con la presentación, en la cual se hace referencia al tema y grado apropiado para su aplicación. En seguida se llega al menú de contenido principal,

donde se visualiza el contenido general referente al *software*, acompañado de un ícono de ayuda que permite al usuario hacer un mejor manejo del MEC.

Luego de haber identificado el curso se escogerá el tema que quiere estudiarse, en este caso se ha elegido un pantallazo correspondiente al tema: cómo se clasifican las fuentes de energía, preparado para el grado 3.º, como se muestra en la figura 2, en la cual se identifica un material multimedia que mezcla el texto con una serie de imágenes alusivas al tema de estudio. En la pantalla se tiene un ícono que permite al estudiante visualizar videos que complementan el tema; también aparece un ícono que permite escuchar la narración de los temas como complemento al material escrito. Los íconos utilizados son llamativos al estudiante y despiertan la curiosidad y la atención por saber qué sucede si se hace clic sobre ellos.

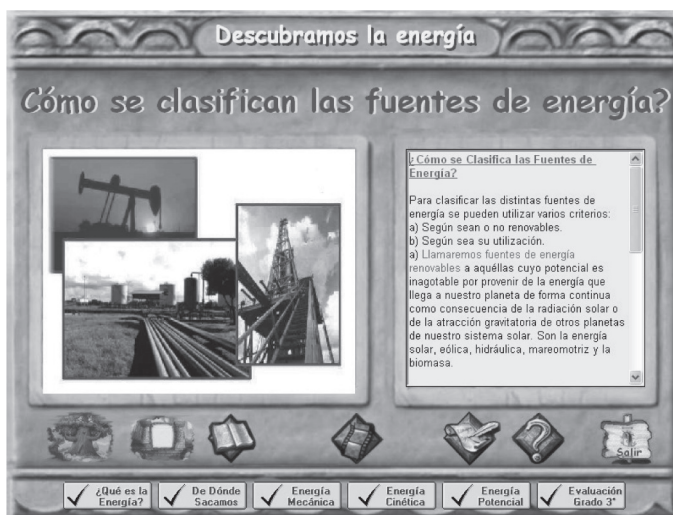
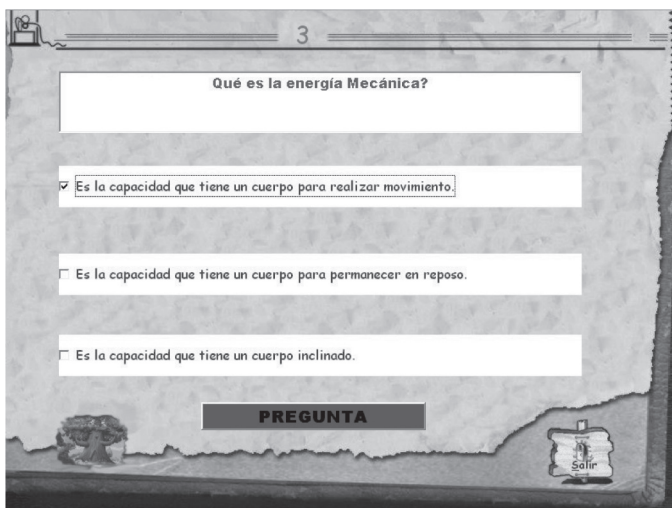


Figura 2. Pantalla típica del MEC de energía.

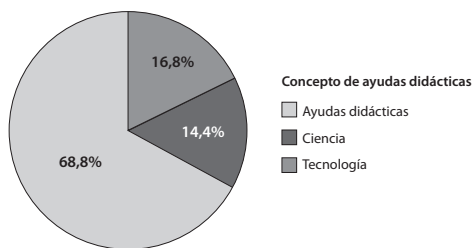
En la figura 3 se observa el pantallazo de la evaluación preparada. La evaluación está formada por 10 preguntas, elegidas de forma aleatoria sobre el banco de preguntas disponible. Esta prueba permite establecer el nivel de conocimiento que

ha obtenido el estudiante ya que por cada pregunta contestada correctamente se asignan 10 puntos y al contestar la última pregunta el programa arroja el total del puntaje obtenido en múltiplos de 10 hasta 100.



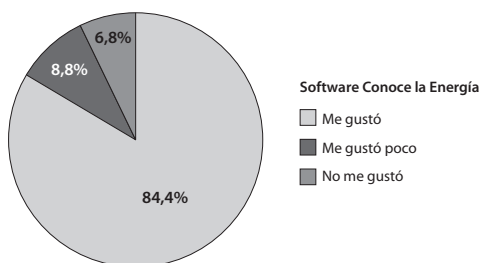
**Figura 3.** Formato de evaluación.

Se realizó una prueba piloto con el objetivo de evaluar el comportamiento y utilidad del software en un grupo de 35 estudiantes de básica secundaria; al final se indagó a los mismos con respecto a la definición de ayuda didáctica, observándose que el 68,8% las identifica como material educativo que el docente utiliza para facilitar el aprendizaje, mientras que el restante 32% las confunde con ciencia y tecnología (véase la figura 4).



**Figura 4.** Identificación del concepto de ayuda didáctica.

Se preguntó a los estudiantes si les agradó manipular el software y recibir la información de la energía y el medio ambiente a través del mismo. En este caso, al 84,4% de los niños les agradó manipular y utilizar nuevos medios de aprendizaje como el MEC aquí descrito (véase la figura 5).



**Figura 5.** Grado de aceptación en la manipulación y utilización del MEC.

Esta prueba nos permitió validar y verificar el MEC, entendiendo como validación del software el proceso que determina si el programa satisface los requisitos, y verificación como el proceso que determina si las temáticas del grado satisfacen las condiciones del mismo. La estrategia desarrollada en la prueba permitió enfocar con acierto el banco de preguntas para la evaluación y la definición de actividades y conceptos involucrados en cada una de ellas.

Estos resultados descritos son de gran importancia, ya que revelaron el impacto del uso de ayudas didácticas para el aprendizaje de nuevas temáticas relacionadas con el medio ambiente. La prueba permitió verificar que la aplicación de los materiales didácticos, junto con un buen método de enseñanza-aprendizaje, facilita la adquisición del conocimiento por parte de los estudiantes de una manera participativa y lúdica.

Los materiales didácticos son una forma de introducir a los estudiantes en un proceso de enseñanza-aprendizaje novedoso, en el cual los docentes se dan cuenta de la creatividad de los niños, la libertad con que aprenden las cosas, la cooperación para con sus compañeros, a la vez que buscan dar solución a las incógnitas que ellos mismos se generan y que son producto de su entorno.

### Conclusiones

En este trabajo se describió un material educativo computarizado, MEC, para la enseñanza de la energía y conceptos relacionados con el medio ambiente. Con esto se contribuye a solucionar una de las grandes falencias del sistema educativo colombiano: la falta de material didáctico adecuado en las aulas de las escuelas y colegios. Además, con la aplicación de este material se aporta a crear conciencia en la población escolar hacia un uso más racional de la energía en pro del medio ambiente.

El *software* se diseñó con base en el manejo de lecturas, imágenes, sonidos, videos y animaciones que permiten al estudiante aprender y conceptuar con mayor facilidad sobre un tema tan importante como lo es el de los recursos energéticos renovables y no renovables.

Los resultados obtenidos en la prueba piloto muestran un alto grado de aceptación del MEC por parte de los estudiantes. De esta manera, las ayudas didácticas novedosas se presentan como una alternativa interesante para la enseñanza de temas avanzados que solo se trabajan en cursos superiores, brindándole al estudiante nuevas opciones para su desarrollo académico.

Además de motivar al estudiante, los materiales educativos computarizados facilitan la labor pedagógica del docente, ya que este tipo de didácticas brindan nuevas posibilidades, permitiéndole cumplir esa labor orientadora exigida en la pedagogía moderna, para que deje de ser un mero transmisor del conocimiento y se convierta en un facilitador del mismo.

Se manejó un concepto integral de formación en el cual la evaluación es parte fundamental del proceso de enseñanza. Para ello se utilizaron formatos de evaluación cuyas preguntas se seleccionan aleatoriamente de una base de datos. Por lo anterior se espera que el MEC tenga efectos positivos en el rendimiento académico y genere un cambio de actitud

en los estudiantes frente a la aplicabilidad de conocimiento adquirido.

Si bien es cierto que los productos multimediales son de gran importancia en la educación, cabe resaltar que el MEC aquí descrito es una herramienta de apoyo docente y en ningún momento pretende remplazar o reducir la importancia del trabajo de campo.

Los productos multimediales tienen gran importancia en la educación, ya que facilitan la enseñanza, apropiación y comprensión de conceptos complejos, de una manera gráfica, sencilla y amena. Esto confirma el potencial del computador como elemento de apoyo en el proceso enseñanza-aprendizaje, en especial en temas relacionados con el medio ambiente y la energía. ▀

## Referencias

- Angarita, M. A. y Hillon, N.E. (2005). *Cambios que se pueden presentar con la aplicación de ayudas didácticas en la enseñanza de la ciencia y la tecnología en niños*. Trabajo de grado, Licenciatura en educación industrial. Duitama: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Bartolomé, A. (1994). *Multimedia interactivo y sus posibilidades en educación superior*. En: <http://personal.redestb.es/antoniot/indJ3sc.htm>
- Cardozo, V. M., Fernández, F. H. y Duarte, J. E. (2005). Diseño y construcción de un calentador solar didáctico. *Revista Colombiana de Física*, 37(2), 338-348.
- Feyman, L. (1987). *Lectures on physics*. Editorial Addison-Wesley
- Galvis, A. (1993). *Ingeniería del Software Educativo*. Bogotá: Ediciones Uganés.
- Gary, C. (1998). *Manual de Visual Basic 6.0, Para Windows*. Madrid: McGraw Hill.
- Gómez, M., Gómez, R., Cardozo, V., Angarita, M., Duarte, J. E. y Fernández Morales, F. H. (2006). Material educativo computarizado para enseñanza de la instrumentación básica en electrónica. VII Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica TAAE'06. Madrid, España.
- Morales, C., Carmona, V., Espíritu, S. González, I. (2004). Modelo de Evaluación de Software Educativo. Consultado en <http://investigacion.ilce.edu.mx/dice/proyectos/evaluacion/modelo.htm>.



# Razonamiento cinemático en mecanismos eslabonados a través de ambientes computacionales

Víctor Ruiz\*  
Nilson Valencia\*\*

Artículo recibido: 23-7-2007 y aprobado: 30-4-2008

## Chained mechanisms kinematic reasoning through computational environments

■ **Resumen:** Este artículo se desarrolla a partir de los resultados obtenidos en el proyecto de investigación denominado Razonamiento espacial en cinemática de mecanismos, patrocinado por la Universidad Pedagógica Nacional a través del CIUP. Mediante el uso de un hipertexto y un simulador se buscó mejorar las condiciones de percepción e inferencia del movimiento en el espacio de mecanismos eslabonados. Se evaluaron las condiciones de eficiencia y eficacia para resolver problemas de movimiento de mecanismos, comparando dos grupos de estudiantes del programa de Licenciatura en Diseño Tecnológico. El primer grupo interactuó con el hipertexto y el segundo, con el hipertexto-simulador.

**Palabras clave:** Razonamiento cinemático, mecanismos eslabonados, razonamiento espacial, hipertexto, simulador, cadenas causales.

■ **Abstract:** This article shows the results obtained from the research project entitled "Spatial Reasoning in kinematics of mechanisms" sponsored by the National Pedagogical University through CIUP. The aim of the study was to improve the conditions of perception and inference of the movement in the space of chained mechanisms, by means of the use of a hypertext and a simulator. The conditions of efficiency and effectiveness were evaluated to solve problems of movement in several mechanisms, by comparing two groups of students who belong to a B.A program in Technological Design. The first group interacted with the hypertext and the second interacted with the hypertext-simulator.

**Key words:** Spatial reasoning, Mechanisms, Kinematic reasoning, hypertext, simulators, causal events chains.

---

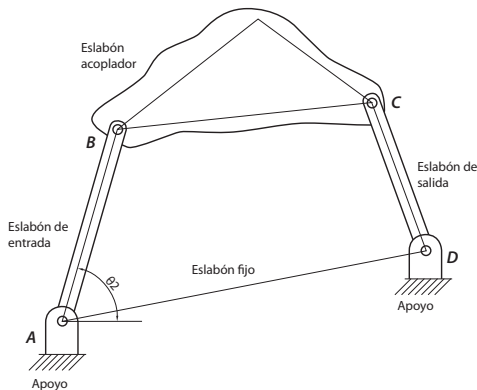
\* Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica. veruizr@udistrital.edu.co.

\*\* Universidad Pedagógica Nacional, Departamento de Tecnología. nvalencia@pedagogica.edu.co.



## Introducción

Un mecanismo es un arreglo de eslabones que se articulan entre sí por medio de elementos de unión para transmitir y transformar movimiento; por ejemplo, de rotacional continuo a rotacional cíclico, o de rotacional a lineal. Un esquema general de un mecanismo eslabonado se presenta en la figura 1. Este tipo de soluciones tiene una gran cantidad de aplicaciones para resolver problemáticas relacionadas con la transmisión y conversión de movimiento y, por tanto, su conocimiento es fundamental para las personas dedicadas a desarrollar este tipo de soluciones.



**Figura 1.** Mecanismo eslabonado de cuatro barras.

En el programa de Licenciatura en Diseño Tecnológico con Énfasis en Sistemas Mecánicos de la Universidad Pedagógica Nacional se detectó por medio de observaciones de campo y pruebas diagnósticas que los estudiantes presentan dificultades conceptuales y metodológicas al analizar mecanismos simples y complejos. Las conclusiones de este análisis sugieren que las deficiencias

surgen por el bajo nivel de abstracción espacial en la solución de problemas que involucran el movimiento de los sistemas mecánicos, lo cual redundaría en los bajos niveles de comprensión, análisis e interpretación de sistemas tecnológicos al dar solución a necesidades específicas utilizando mecanismos eslabonados. Para contribuir a la solución de esta problemática se diseñó un ambiente computacional compuesto por un hipertexto y un simulador, con el objeto de promover el desarrollo de habilidades en tres aspectos fundamentales:

- reconocer las formas en que los objetos cambian de posición en el espacio,
- determinar las restricciones de movimiento ofrecidas por las uniones que hay entre eslabones, y
- verificación del movimiento complejo de un mecanismo como la suma de movimientos simples de sus eslabones para una combinación específica de los mismos.

La interacción con los ambientes computacionales permitió verificar cómo el estudiante es capaz de estructurar la solución a un problema de movimiento de mecanismos teniendo en cuenta los aspectos anotados previamente.

## Contexto teórico

Al ser la cinemática un estudio físico, los modelos utilizados para describir el movimiento son esencialmente matemáticos. Las magnitudes que cualitativamente hacen la descripción física toman cuerpo en las representaciones vectoriales como cantidades que expresan tanto lo cualitativo como lo

cuantitativo. Los conceptos de posición, velocidad y aceleración determinan la calidad y la cualidad del movimiento. Sin embargo los modelos matemáticos y sus representaciones vectoriales no logran fácilmente generar una representación mental alrededor del movimiento de un mecanismo (Poli, *et ál*, 2003). Para los estudiantes y profesionales de carreras donde es importante el análisis y la creación de sistemas mecánicos, se requieren habilidades que les permitan entender e inferir el movimiento de un mecanismo sin estar necesariamente planteadas las ecuaciones que gobiernan su comportamiento.

El desarrollo de asistentes computarizados que promuevan y mejoren las habilidades para generar abstracciones del movimiento de los cuerpos en el espacio ha sido abordado por diferentes autores, tal como se enunciarán en adelante, teniendo en cuenta diferentes elementos que intervienen en los procesos cognoscitivos que un individuo lleva a cabo para determinar e inferir el movimiento de un sistema mecánico. La manera en que los individuos pueden percibir y predecir los cambios y las relaciones espaciales que presenta un elemento o conjunto de elementos es fundamental cuando se habla de movimiento, por esto se considera el razonamiento espacial como un eje primordial en la investigación que dio origen a este documento. El manejo de los conceptos de visualización, modelación mental y razonamiento cinemático han sido aportes de diferentes autores en la discusión alrededor de la percepción de movimiento.

### **Visualización**

Potter y Merwe (2002) desarrollaron estrategias basadas en las teorías piagetianas de la percepción y la imaginaria mental, entendida esta última como el conjunto de los procesos mentales que el individuo es capaz de desarrollar para generar representaciones visuales de los objetos que están en el espacio. Tienen en cuenta que estos procesos se agudizan a través de acciones de repetición e imitación del entorno, en especial la representación gráfica. Involucraron a estudiantes de ingeniería en tareas de bocetos, descripciones gráficas y construcción de modelos tridimensionales con el objetivo de aumentar el nivel de percepción, abstracción e imaginaria mental.

Murch y Woolf (2002) desarrollaron un tutor que le permite al estudiante crear vistas ortogonales a partir de isométricos, o lo contrario, con diferentes niveles de dificultad. Este tutor viene siendo utilizado en la Universidad de Massachusetts en los cursos básicos de dibujo de ingeniería y busca mejorar los procesos de razonamiento diagramático de los estudiantes a partir de ejercicios que le permitan al estudiante abstraer imágenes y cambiar puntos de vista mentalmente.

Poli *et ál.* (2004), plantean que los problemas de visualización y percepción encontrados en una facultad en psicología son los mismos que para una de ingeniería y ciencias de computación. Determinaron que los estudiantes tienen gran dificultad de abordar la visualización, por sí mismos, de las transformaciones espaciales de los obje-

tos. Buscaron estrategias metodológicas para garantizar el desarrollo de sus habilidades de razonamiento y visualización. Como resultado se elaboraron tutores computarizados adaptables a las necesidades individuales de los estudiantes. La adaptabilidad supone que se requiere comprender mejor el proceso cognitivo que forma el núcleo de la visualización y de las destrezas del razonamiento espacial para la elaboración de herramientas que efectivamente aporten en el desarrollo de estas condiciones mentales.

#### **Modelamiento mental y razonamiento cinemático**

Chandracekara (2000) plantea representaciones perceptuales para resolver problemas visuales de diseño mecánico. Desde aquí plantea el razonamiento cinemático como el proceso de recrear un modelo mental de un sistema formado por elementos que se comportan de acuerdo con las leyes del movimiento mecánico. Esta recreación sugiere que el proceso inferencial implícito en el razonamiento mecánico involucra la simulación mental de la operación del mecanismo.

Hegarty (1992) utilizó mecanismos simples como arreglos de poleas cuerdas y pesos unidos entre sí que le permitieron plantear la pregunta: ¿Cuáles son los procesos involucrados en la inferencia del movimiento de los elementos si el extremo de una cuerda libre es halado? La autora en mención plantea que el proceso de simulación o animación mental de la cinemática de un sistema se hace paso a paso. En esta lógica propone que los modelos mentales de mecanismos específicos se hagan a partir de una serie de pasos que permitan a la persona que está razonando inferir y describir el

comportamiento global del mecanismo a partir del comportamiento individual de sus partes y las maneras en que cada parte se relaciona con elementos adyacentes. El conjunto de pasos constituye la animación mental del movimiento del mecanismo.

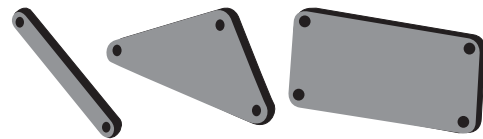
La animación mental consiste entonces en una serie de procesos cognitivos en los cuales los componentes individuales son animados uno por uno, en lugar de un proceso de animación de todo el sistema. Se genera entonces una cadena causal de eventos donde se hacen sucesivas relaciones entre elementos precedentes y subsiguientes de forma que al sumarse los movimientos individuales es posible describir completamente todo el movimiento de un sistema.

#### **Mecanismos eslabonados**

El movimiento de un mecanismo está definido a partir de sus eslabones y de las uniones que se utilizan para articular los elementos desde la entrada del mecanismo hasta la salida.

#### **Eslabones**

Un eslabón se considera un elemento rígido sin una forma definida específicamente; sin embargo, pueden catalogarse como binarios, ternarios o cuaternarios, según el número de puntos de articulación tengan. Como ejemplo se ven los mecanismos de la figura 2.

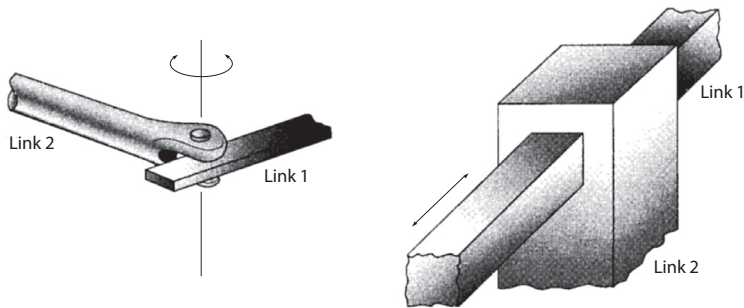


**Figura 2.** Diferentes tipos de eslabones. Binario terciario y cuaternario

### Uniones

Las uniones en un mecanismo definen qué tipo de movimiento puede existir entre dos eslabones que se articulan entre sí. De esta manera se tienen, de una forma general, tres tipos de unión, rotacionales, lineales prismáticas y de contacto simple.

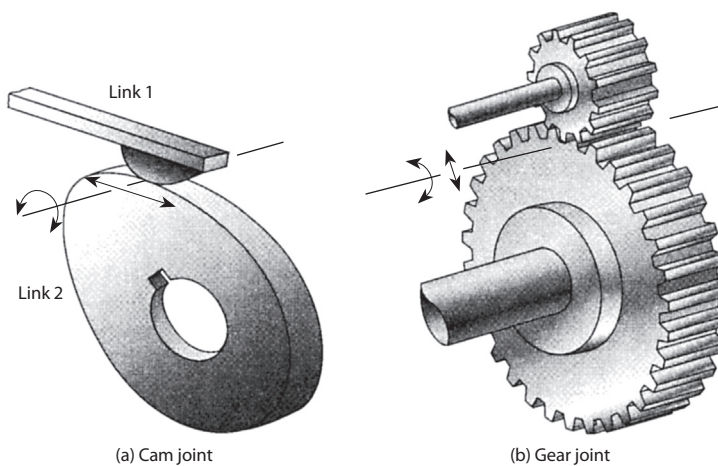
Las uniones de tipo rotacional únicamente permiten movimiento circular alrededor del punto de unión. Las lineales o prismáticas no permiten rotación alguna, únicamente permiten el desplazamiento en la línea recta que define la restricción de la unión (figura 3).



**Figura 3.** Uniones rotacional y lineal o prismática. Tomado de Joussefi, K. Mechanisms. Berkeley University 2002. Presentación de diapositivas.

En las uniones de contacto simple solo existe un contacto entre las superficies de dos eslabones; sin embargo, no

hay un elemento adicional que asegure la unión (figura 4).



**Figura 4.** Uniones de contacto simple. Tomado de Joussefi K. Mechanisms. Berkeley University, 2002. Presentación de diapositivas.

**Tipos de movimiento**

De acuerdo con las uniones o restricciones de movimiento y las longitudes de los eslabones se definen las condiciones del movimiento del mecanismo. Los mecanismos planares corresponden a los mecanismos que desarrollan su característica de movimiento en un solo plano, y los tridimensionales, los que definen su movimiento en más de un plano.

**Grados de libertad**

Se define como grado de libertad, GDL, los posibles movimientos que en conjunto puede tener un mecanismo. Una definición más rigurosa expresa el número de grados de libertad como una función del número de elementos y sus uniones por medio de la siguiente fórmula:

$$GDL = 3L - 2J - 3G \quad (1)$$

Donde

GDL= Número de grados de libertad

L = Número de eslabones

J = Número de uniones entre eslabones

G = Número de eslabones fijos

Los mecanismos rotacionales corresponden a los que únicamente tienen uniones rotacionales entre eslabones; la entrada de movimiento será rotacional, generalmente continua y la salida será rotacional continua, o discontinua, oscilante, según las longitudes de los eslabones. Para un mecanismo de cuatro eslabones la rotación continua o discontinua la define la relación de Grashoff (Norton, 2002), que corresponde a

$$S + L < P + Q \quad (2)$$

Donde

S es la longitud del eslabón más corto

L es la longitud del eslabón más largo, y

P y Q son las longitudes de los otros dos eslabones

Cuando la relación de Grashoff se cumple, al menos uno de los dos eslabones de entrada y/o salida rotará continuamente, y se denomina manivela; cuando un eslabón no rota completamente se denomina oscilador. En las figuras 5 y 6 se definen estos casos.

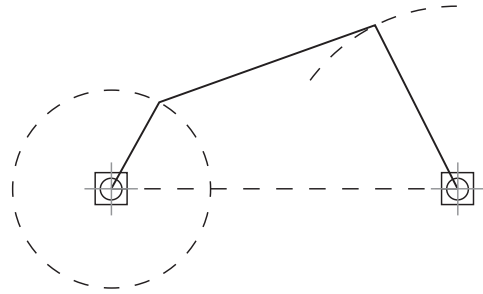


Figura 5. Mecanismo manivela oscilador.

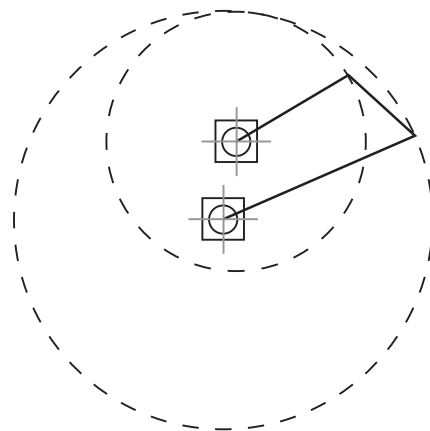


Figura 6. Mecanismo doble manivela.



y animaciones prediseñadas, acompañadas por textos explicativos, y como elemento diferenciador un simulador que no se limita a realizar una animación sino que, por el contrario, permita crear y modificar las condiciones de ubicación en el espacio y restricciones de movimiento, brindando la posibilidad de comparar los resultados de dos o más mecanismos similares a los cuales se les cambia uno o varios parámetros, como longitudes y posición de los eslabones que puedan afectar el comportamiento del sistema.

Los materiales desarrollados tienen como objetivo orientar el aprendizaje para identificar los problemas de cinemática, cómo descomponer un objeto

complejo en características y después aplicar transformaciones homólogas a estas características, y cómo elegir una estrategia total que reduzca la carga en la memoria de trabajo.

Se busca entonces, seguir un modelo que permita crear una adecuada animación mental que sea representativa de la cinemática real del mecanismo representado; esta estructura estará basada en las etapas planteadas por Hegarty y Narayanan (1998), para la animación mental, y en Norton (1999), para el modelo cinemático. De esta forma se llega a una serie de etapas que pueden equipararse sin necesidad de ser equivalentes exactos. En la tabla 1 se resumen estas características.

Inferencia del movimiento	Comportamiento cinemático
Descomposición del mecanismo.	Modelos matemáticos de movimiento.
Identificación de uniones.	Restricciones de movimiento.
Conexión entre eslabones.	Restricciones geométricas (longitudes de eslabones).
Cadena causal de eventos.	Movimiento de eslabones (trayectoria, velocidad, aceleración).
Modelo mental.	Movimiento del ensamble.

**Tabla 1.** Comparación entre los procesos de inferencia mental de movimiento y el modelo físico cinemático.

### Estructura del hipertexto

La intencionalidad de la estructuración es buscar que el estudiante racionalice el efecto individual de cada componente de forma que le permita inferir el movimiento de todo el conjunto. El análisis de aplicaciones de mecanismos intenta que el individuo sea capaz de identificar estructuras de mecanismos conocidas en cuanto a tipos de movimientos y configuración de eslabones de forma que se maneje un conocimiento previo en movimiento de mecanismos antes de enfrentarse con situaciones problemáticas

por resolver. El hipertexto fue desarrollado en Asimetrix Toolbook® 2005, utiliza animaciones generadas en Cam Studio® a partir de simulaciones hechas en Working Model® y Visual Nastran® e imágenes diseñadas por el grupo de investigación.

Se destacan tres aspectos fundamentales; el primero de ellos está relacionado con la apreciación del movimiento, describiendo las diferentes formas en que un cuerpo puede cambiar de posición en el espacio. El segundo se maneja a partir de la teoría general de



los mecanismos donde se describen las restricciones cinemáticas establecidas por los diferentes tipos de unión, así como el cálculo simple de los grados de libertad de un mecanismo. Definida la teoría, se encuentran ejemplos descritos de mecanismos comunes que son base de mecanismos más complejos, y por último, existe una sección de videos en el diseño de la interfaz, con aplicaciones complejas de los mecanismos.

El objetivo primordial entonces se centra en identificar adecuadamente cómo pueden generarse casos particulares de movimiento así como reconocer la

forma en que puede transmitirse a partir de dispositivos tecnológicos. La figura 8 se muestra el mapa de navegación del hipertexto que da cuenta de todos los temas que se abordan, y la figura 9 presenta la interfaz del hipertexto.

El contenido, el visual permite recrear situaciones contextualizadas al tema referido en la pantalla. Se prefirió el uso de videos que permitieran recrear apropiadamente la noción de movimiento de los diferentes elementos involucrados en una cadena cinemática conformada por el eslabonamiento de elementos desde la entrada hasta la salida del mecanismo.

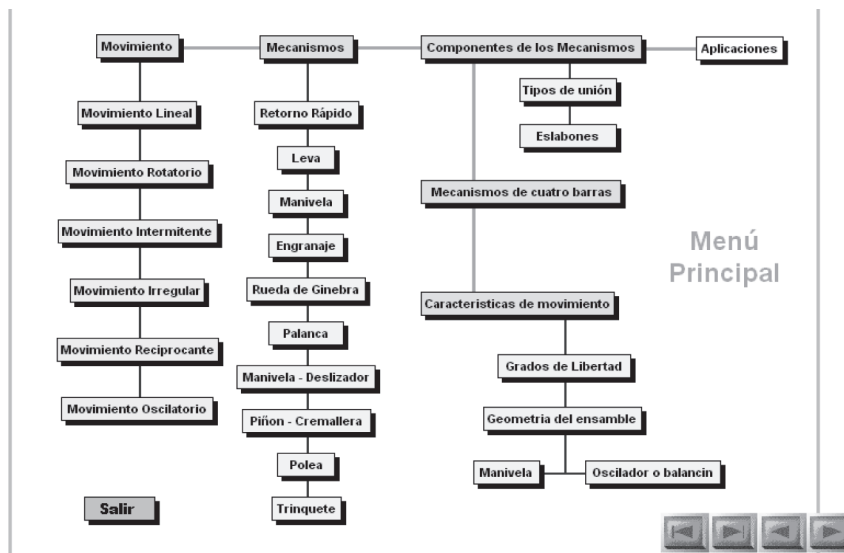


Figura 8. Mapa de navegación del hipertexto.





Figura 9. Estructura general de una pantalla en el hipertexto.

### Estructura del simulador

El entorno de trabajo tiene la posibilidad de trabajar formas simples, en un espacio bidimensional, para representar los eslabones, y posee librerías donde se puede escoger y posicionar las uniones entre eslabones de acuerdo con la característica del movimiento, y por último, pueden crearse controles asociados a longitudes y ubicaciones espaciales de los elementos con el fin de modificar rápidamente las características y simular fácilmente el movimiento del conjunto.

Las rutinas de simulación fueron construidas en Working Model® v. 4.0 teniendo en cuenta que es un programa orientado a la simulación cinemática de mecanismos. Siguiendo la estructura que se aprecia en la figura 10, se tiene una zona de trabajo donde se ubican los di-

ferentes elementos que intervienen en la simulación. El área mayor corresponde a la representación del mecanismo, a la izquierda se ubicaron los elementos que permiten cambiar las propiedades de ubicación de uniones y de longitudes de eslabones, en la región superior derecha se ubicaron mensajes con instrucciones simples para que el estudiante se contextualizara con la situación presentada en la rutina. En la parte superior izquierda se ubica el título de la rutina.

Según el tema por trabajar, existe un modelo previo para empezar a simular y modificar variables; o en otros casos el estudiante debía construir el mecanismo a partir de diferentes elementos que se le proporcionaron. En total se desarrollaron catorce rutinas de simulación.

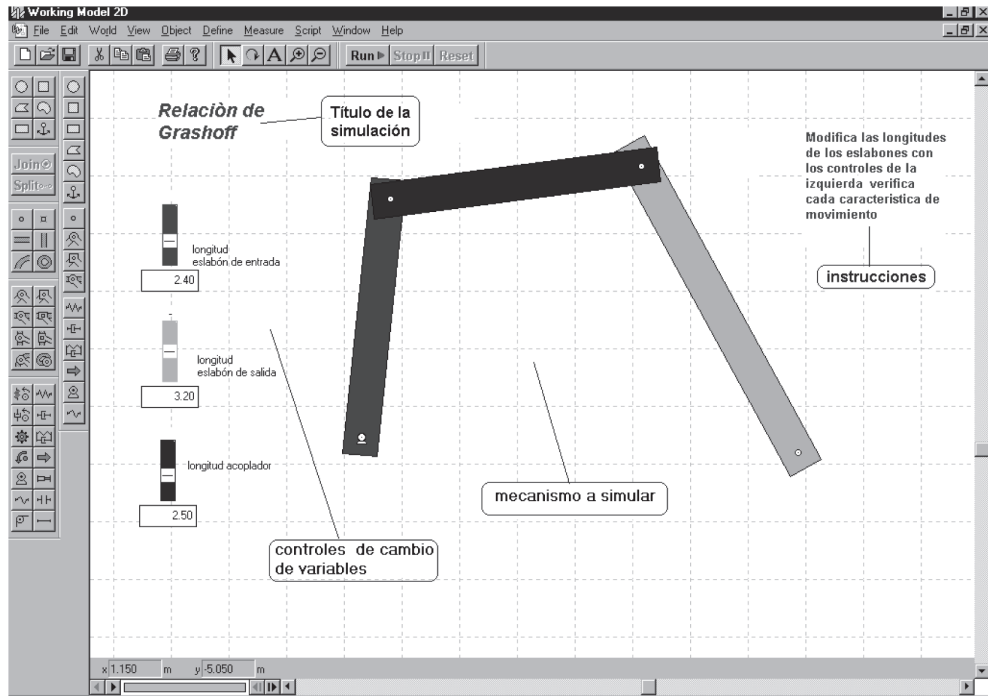


Figura 10. Área de trabajo para la simulación.

## Metodología

La investigación se contextualizó en el marco de la didáctica de la tecnología, en la temática de mecanismos, específicamente en mecanismos planares eslabonados de cuatro barras, y se posibilita a través de la incorporación de un ambiente de aprendizaje computarizado con características particulares de un hipertexto y un simulador enfocado en la solución de problemas en la temática expuesta anteriormente.

### Diseño de la investigación

Se diseñó un ambiente computacional Hipertexto: Mecanismos, el cual presenta los fundamentos conceptuales de la teoría de mecanismos, apoyados con simu-

laciones de movimiento de mecanismos y aplicaciones reales. En la tabla 2 se resume el diseño de la investigación.

	Variable independiente	Variable dependiente
Hipertexto-simulador	Hipertexto	Eficacia
Grupo A	Grupo B	Eficacia

Tabla 2. Variables involucradas en el diseño experimental.

Las variables independientes corresponden a los grupos experimentales los cuales son determinados de acuerdo con la forma como van a interactuar con la herramienta y las variables dependientes

corresponden a la eficiencia y la eficacia definidas como:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Eventos exitosos}}{\text{Tiempo empleado}} \quad (1)$$

$$\text{Eficacia} = \frac{\text{Eventos exitosos}}{\text{Total de eventos utilizados}} \quad (2)$$

#### **Población, muestra y procedimientos experimentales**

El escenario experimental se validó con 60 estudiantes de cuarto semestre de Licenciatura en Diseño Tecnológico de la Universidad Pedagógica Nacional. Se distribuyeron aleatoriamente en dos grupos: A y B, de 30 estudiantes cada uno. En el presente estudio el grupo A se caracteriza por interactuar únicamente con el hipertexto. El grupo B se caracteriza por interactuar con el conjunto hipertexto-simulador. La validación se realizó en dos momentos, a saber:

*Etapa de interacción.* El estudiante está en contacto con las herramientas. El objetivo básico es entender el movimiento de los mecanismos planares de cuatro barras a través del reconocimiento de las diferentes relaciones que existen entre los eslabones, su geometría, sus tipos de unión y el tipo de movimiento de entrada. Así mismo se busca determinar cómo este conjunto de aspectos afectan la característica global de movimiento del mecanismo en el espacio. La interacción con el hipertexto se realizó en tres sesiones de sesenta minutos, y la interacción con el hipertexto-simulador, en tres sesiones de noventa minutos.

*Etapa de experimentación.* Los estudiantes resuelven cinco problemas en los que se indaga alrededor del comportamiento de los mecanismos y se verifica el proceso que siguieron los estudiantes para llegar a una conclusión. Las sesio-

nes de trabajo fueron simultáneas para todos los grupos. El tiempo máximo para el desarrollo de los problemas se estableció de una hora y cincuenta minutos. Se registró el tiempo empleado en la solución de cada problema resuelto y se totalizó el tiempo empleado para resolver los problemas.

La evaluación se hizo planteando cinco mecanismos a los trabajados tanto en el hipertexto como en el simulador y se realizaron preguntas alrededor del movimiento del mecanismo. Las preguntas tenían la intencionalidad de verificar la construcción de la cadena causal de eventos previa a la animación mental. Se hizo un registro personalizado de cada usuario con el fin de recopilar la información de la experimentación.

Teniendo en cuenta que cada individuo puede generar una estrategia diferente para resolver el problema se determinó una cadena causal de eventos estándar la cual tenía los pasos mínimos requeridos para resolver el problema de acuerdo al análogo cinemático propuesto en cada caso y poder establecer cuales eventos de los planteados por el estudiante eran exitosos y así determinar las variables del estudio, eficiencia y eficacia, respectivamente.

#### **Resultados**

Para el análisis de los datos obtenidos se utilizó el análisis de varianza con prueba F para establecer las diferencias entre las medias de los grupos A, y B para la eficiencia y la eficacia en la solución de problemas por parte de los sujetos.

En este estudio se evaluó el efecto de la variable independiente, grupo sobre las variables dependientes, mediante el análisis de varianza (ANOVA) en cada

problema, se utilizan como variables dependientes: la eficiencia y la eficacia. Esta información se analiza por grupos, de tal forma que la prueba estadística aplicada, muestra si existen diferencias significativas entre ellos.

**Comparación de la eficiencia por grupos**

En la figura 11 se aprecia que existe una eficiencia más alta en el grupo que interactúa con el simulador. Es de anotar que el grupo A mantuvo un nivel de eficiencia casi constante; llama la atención debido a que se mantuvo independiente de la dificultad del problema, esto puede suponer que los individuos que trabajaron únicamente con el hipertexto establecen reglas muy similares para la cadena de eventos sin diferenciar las particularidades de cada mecanismo.

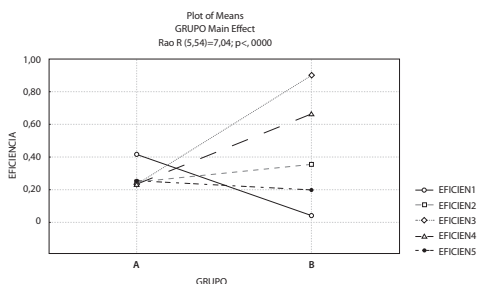


Figura 11. Eficiencia por grupo experimental.

**Comparación de la eficacia por grupos**

En la figura 12 se aprecia un aumento significativo en la eficacia del grupo B con respecto al grupo A. Los niveles de eficacia en el primer grupo muestran bajos niveles de eventos exitosos, lo cual muestra que el hipertexto no contribuyó de manera significativa en el aprendizaje de los estudiantes y que evidentemente el uso del hipertexto simulador aportó

en el mejoramiento del razonamiento cinemático de los individuos.

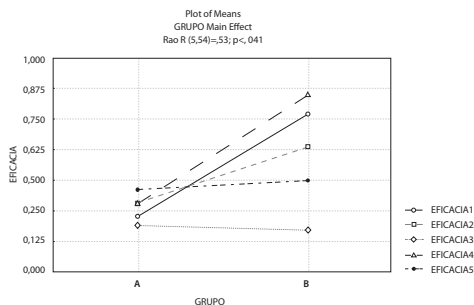


Figura 12. Eficacia por grupo experimental.

**Discusión de resultados**

Los resultados obtenidos pueden entenderse, teniendo en cuenta que al utilizar el simulador el individuo está construyendo simultáneamente el modelo mental de movimiento junto con el modelo cinemático, lo cual le permite identificar con mayor claridad las interacciones entre eslabones, uniones y tipos de movimiento generados; sin embargo, este proceso puede aumentar la carga en la memoria de trabajo, por lo que se toma más tiempo para comprender de manera adecuada cada situación. No obstante los resultados se encuentran dentro de lo presupuestado por el grupo frente al simulador que buscaba que le permitiera al estudiante reconocer más fácilmente la interacción entre elementos y le tomara menos tiempo inferir un movimiento.

Además se verificó que el estudiante que tiene la posibilidad de participar en la construcción virtual del mecanismo y en su simulación final es capaz de establecer cadenas causales de eventos más detalladas, logrando inferir el movimien-

to de una manera más acertada. El grupo que experimentó únicamente con el hipertexto estableció de manera constante un número de eventos exitosos en cada situación; sin embargo, esta condición no es la ideal ya que los requerimientos frente a los elementos que interactuaban en cada problema aumentaban con el problema, por lo que se presentaron respuestas erradas o no esperadas con mucha más frecuencia que en el grupo intervenido con el simulador.

Lo concluido alrededor de la eficacia entra en concordancia con lo analizado para la eficiencia, por cuanto el estudiante del grupo que interactúa con el simulador busca establecer en detalle el modelo que le ayude a inferencias acertadas de movimiento, por tanto, para ello requiere más tiempo debido a que genera y utiliza más información para obtener una respuesta que solucione adecuadamente el problema.

Una nueva pregunta surge entonces con respecto a los resultados: ¿Cuál de los dos indicadores analizados puede llegar a ser más importante en la resolución de problemas de cinemática de mecanismos? Al esperar que el estudiante pueda inferir correctamente el movimiento de cualquier elemento que conforma el mecanismo y, por supuesto, el movimiento de todo el ensamble, la respuesta podría orientarse a que es, posiblemente, más importante el hecho de poder completar un modelo de animación mental detallado y que no dé paso a ambigüedades que puedan producir errores en la solución final, a expensas del tiempo empleado para tal fin.

La eficacia tiene en cuenta la cantidad de eventos exitosos desarrollados por un individuo para resolver un proble-

ma, es determinante cuando se trata de analizar situaciones que involucran movimientos complejos, teniendo en cuenta que en este tipo de problemas es importante establecer adecuadamente una secuencia de operaciones tendientes a elaborar un modelo detallado de lo que se observa.

Sin embargo, preocupa que se requiera mucho tiempo para resolver el problema, debido a que el individuo puede agregar más información de la necesaria en los procesos y llevarlo a conclusiones diferentes, como ocurrió en los problemas más complejos.

Una de las condiciones que entra a jugar es la experticia que un individuo pueda desarrollar para resolver problemas de este tipo; esto quiere decir que es capaz de guardar cadenas de eventos parciales y enlazarlas con la nueva situación a la que se ve enfrentado, lo cual llevaría al individuo a resolver los problemas con una buena probabilidad de éxito con un tiempo inferior al que utilizaría una persona que resuelve este tipo de situaciones por primera vez. Queda la inquietud frente a la cantidad y tipo de problemas que debe resolver una persona para generar una condición como la descrita anteriormente; el alcance experimental no logró determinarlo debido a la corta duración de las pruebas, por lo que se propone como un futuro tema de investigación.

La ubicación y percepción espacial es un inconveniente para estudiantes incluso universitarios, la formación alrededor de la concepción espacial teórica no es complementaria con el mundo real, de modo que los modelos matemáticos y geométricos en ocasiones no son fácilmente relacionables con las condicio-

nes reales, esto hace que el individuo entienda el movimiento desde el punto de vista geométrico y físico en entornos coordinados de forma rectangular, polar e incluso cilíndrica o esférica, pero le es difícil inferir en el espacio real sin sistemas coordinados. Contextualizar desde etapas previas a la formación universitaria, alrededor del movimiento,

la transformación y las relaciones causa efecto en cadenas eslabonadas ayudaría significativamente a las personas que se decidan a estudiar modos de movimiento más complejos de forma que su concepción espacial sea más abierta y puedan relacionar más fácilmente todas las variables implícitas en este tipo de situaciones. ▲

## Referencias

- Chandrasekaran B. (2000). *Multimodal perceptual representations and design problem solving. Invited paper, visual and spatial reasoning in design: Computational and cognitive approaches*, MIT, Cambridge, USA.
- Hegarty M. (1992). Mental animation: Inferring motion from static displays of mechanical systems. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 18, 1084-1102.
- Hegarty, M. and Narayanan H. (1998). Designing Hypermedia Manuals to explain how Machines Work: Lessons from Evaluation of a Theory-based Design Technical Report CSE98-04.
- Hegarty, M. and Kozhevnikov, M. (1999). Spatial abilities, working memory and mechanical reasoning. In J. Gero and B. Tversky (Eds.). *Visual and Spatial Reasoning in Design*. Key Center for Design and Cognition, Sydney, Australia.
- Nikam, D., Sathyarayana, D. and Krishnamurthy, S. (2004). Design and Development of Kinematics Visualization Tutor.
- Norton, R. (1999). *Diseño de maquinaria*. 2.ª ed., en español. McGraw Hill.
- Poli, C., Fisher, D. L., Pollatsek, A., and Woolf, B.P. (2003). Design for stamping Isolating Pedagogically Effective Components in Multimedia. Tutors and the Classroom. *Journal of Engineering Education*.
- Potter C. and Van der Merwe, E. (2002). *Teaching visualization in engineering graphics: Methodology and implications*.

# Modelos de enseñanza y modelos de comunicación en las clases de ciencias naturales

Laura Levin\*  
Araceli Marcela Ramos\*  
Agustín Adúriz-Bravo\*\*

Artículo recibido: 26-06-2006 y aprobado: 5-08-2008

## Teaching models and models of communication in science classes

■ **Resumen:** El objetivo de la investigación relatada en este trabajo fue analizar si el estilo de enseñanza al que dice adherir el profesorado de ciencias naturales se expresa en las diversas formas de comunicación que se establecen en sus clases. El foco de la observación de clases estuvo principalmente en las interacciones lingüísticas entre profesor/a y estudiantes. La enseñanza y la comunicación se tipificaron con diversos modelos teóricos, que aquí se revisan. A partir del análisis de las clases observadas se robustecen las siguientes precisiones: a) el modelo "didáctico" constructivista necesita en algún momento del despliegue efectivo de una comunicación dialógica en el aula; b) por tanto, "adherir" declarativamente al constructivismo mientras se generan modos de comunicación clausurantes en clase deja al descubierto modelos implícitos de transmisión o de condicionamiento; c) sin embargo, en las aulas argentinas se observan tipos híbridos de práctica en donde el lenguaje asume muchos papeles.

**Palabras clave:** Modelos de enseñanza, modelos de comunicación, interacción en el aula, lenguaje científico escolar, constructivismo, observación de clases.

■ **Abstract:** The aim of this study was to analyse whether science teachers' style is expressed in the different communication schemes established in their classes. Classroom observation was focused on linguistic interactions established between teacher and students. Teaching and communication were characterized by means of several theoretical models, which are discussed here. From the classroom observation analysis, it was possible to draw the following statements: 1. the constructivist teaching model requires, at least in some periods of the time, the effective use of dialogic communication inside the classroom; 2) therefore, the declarative 'adherence' to constructivism while 'closing' communication models are generated in the classroom reveals implicit models of transmission or conditioning; 3. However, it is possible to observe that, in Argentinean classrooms there are hybrid types of practice in which language plays different roles.

**Key words:** Teaching models, communication models, classroom interaction, school scientific language, constructivism, and classroom observation.

\* Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental, BBE. lale@bg.fcen.uba.ar

\*\* Universidad de Buenos Aires, UBA. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, FCEyN. andurizbravo@yahoo.com.ar.



## Introducción

Hoy en día, uno de los problemas fundamentales de la innovación en educación es encontrar formas de comprometer a las aulas para crear y mantener condiciones en las que pueda prosperar un diálogo abarcador, democrático y abierto durante la enseñanza (Sarramona, 1988; Burbules, 1999; Mortimer y Scott, 2003; Rice, 2005; Sagastizábal, 2006). De allí la importancia que ha cobrado, en el campo de la investigación educativa, el estudio de las formas y estilos que asume la comunicación al enseñar (Contreras, 1990; Sierra, 2000). El problema de la comunicación significativa (*dialógica*) de contenidos disciplinares en las aulas de ciencias naturales también viene siendo identificado como una línea de trabajo central para la didáctica de las ciencias (Lemke, 1997, 2002; Sanmartí, 2002, 2003; Márquez et al., 2003, 2006; Mortimer y Scott, 2003; Izquierdo et al., 2004, 2007; Izquierdo, 2005; Marbà y Márquez, 2006; Marbà et al., 2006; Scott et al., 2006; Scott y Ametller, 2007).

José Contreras (1990) define el proceso de enseñanza como un proceso de comunicación humana que reúne cinco características: es *intencional, forzado, jerárquico, grupal e institucionalizado*. En resumen, la enseñanza se diseña siguiendo finalidades claramente definidas, se da en un contexto normativo en el seno de un sistema de relaciones sociales, esta mediada por un lenguaje que, entre otras muchas cosas, *comunica contenidos disciplinares específicos*, y se desarrolla constreñida por el marco de sistemas altamente formalizados creados para el efecto.

En este trabajo nos interesa realizar un primer acercamiento a las relacio-

nes de convergencia o de contradicción que se establecen entre las formas de enseñar y las formas de gestionar la comunicación en clases reales de ciencias naturales. Para el análisis de nuestro corpus de datos, recuperaremos dos tipologías muy genéricas: una de modelos comunicativos y otra de modelos “didácticos” (de enseñanza). También queremos examinar más detalladamente algunas de las características de la comunicación didáctica que se genera en las clases de ciencias, para lo cual recurriremos a diversas aportaciones teóricas provenientes de la pedagogía, de la didáctica de las ciencias naturales y de los nuevos estudios sobre el lenguaje en el aula.

## Marcos teóricos

En esta sección presentaremos dos marcos teóricos clásicos, “instalados” en forma relativamente amplia dentro de la comunidad académica iberoamericana de investigación educacional, que fueron diseñados para clasificar los procesos de comunicación y de enseñanza mediante analogías o tipificaciones taxonómicas y “modelizadoras” (es decir, de *representación teórica*). Por cierto, entendemos que estos marcos no son los únicos posibles para el análisis, pero, funcionando a modo de “lentes conceptuales” muy potentes, a nosotros nos permiten encontrar cruces significativos en el estudio etnográfico de nuestras aulas de ciencias naturales (Galagovsky et al., 1998).

El primer marco teórico proviene de la pedagogía, y caracteriza la comunicación “didáctica” (esto es, aquella *dirigida intencionalmente a la enseñanza*) con tres metáforas, según el grado de participación de los actores (profesorado



y estudiantado) en la co-construcción del discurso de aula. El segundo marco proviene de la didáctica de las ciencias de línea francesa, y tipifica las “formas de enseñar” según la imagen de aprendizaje y de estudiante que el profesorado sustenta para organizar su práctica (por ello, esta clasificación “sintoniza” con fuentes psicológicas y cognitivas).

En el caso de este segundo marco de análisis, hablamos de *modelos didácticos* (es decir, modelos de enseñanza) sabiendo que esta expresión es problemática por su multiplicidad de sentidos (Adúriz-Bravo, 2001; Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001). La decisión ha sido respetar aquí la nomenclatura original postulada por Jean-Pierre Astolfi (entrecomillándola, para señalar su problematicidad), pero en la subsección correspondiente haremos un breve paréntesis para discutir algunas dificultades que tiene esta nomenclatura<sup>1</sup>.

#### Los modelos comunicativos

El pedagogo español José Contreras Domingo (1990) plantea tres modelos generales apoyados en sendas analogías para conceptualizar el proceso de *comunicación didáctica* en la escuela:

1. El *modelo telegráfico*, que entiende la comunicación como un proceso de transmisión lineal y unidireccional de información entre un emisor (profesor/a) y unos receptores (estudiantes). Todo lo que acontece alrededor no importa para el proceso, y son solo “ruidos” que interfieren con la comunicación eficaz del mensaje.
2. El *modelo orquestal*. Para este modelo, la comunicación es un proceso social donde todos participan de alguna forma más o menos limitada. La analogía es una orquesta donde todos tocan la misma partitura, no ya un intérprete (profesor/a) y su auditorio (estudiantes), como en el modelo anterior. Lo que ocurre alrededor es también parte del proceso. La comunicación se establece no sólo a través de la palabra, sino también a través de los gestos. Sigue habiendo un director de orquesta (profesor/a), y los mensajes (contenidos) son bastante unívocos por su naturaleza externa, normativa e institucionalizada.
3. El *modelo sistémico*, que entiende la comunicación como un sistema complejo de elementos interactuantes, y analiza esos elementos y las múltiples y diversas relaciones que se establecen entre ellos. El factor crítico en la comunicación no es, como en el modelo anterior, el emisor (músico) o la naturaleza del mensaje (partitura), sino más bien la capacidad de los sucesivos receptores para decodificar y *dar sentido* a lo que los emisores dicen o hacen. Deben existir un código lingüístico y un acervo cultural compartidos. Emisores y receptores intercambian mensajes por distintos canales (verbal, gráfico, gestual) y con distintos códigos, no siempre convergentes. Los mensajes tienen un contenido informativo y un contenido *relacional*, esto es, dicen sobre la relación que se establece entre los comunicantes (este es, para el psicoterapeuta y semiólogo austriaco Paul Watzlawick, uno de los *axiomas de la comunicación*: Watzlawick *et*

1 Agradecemos a un evaluador anónimo de nuestro artículo por sus sugerencias en la línea de añadir esta discusión, que consideramos valiosa para los lectores.

ál., 1981). El mensaje que recibe el receptor es creación tanto del emisor como de él mismo: los mensajes son entonces elaboraciones complejas. Profesor/a y estudiantes participando en la comunicación son simultáneamente emisores y receptores.

El modelo sistémico tiene en cuenta para el análisis que, debido al carácter equívoco de la comunicación humana, los interlocutores necesitan desplegar procedimientos de reconocimiento de la comprensión correcta, llamados con el nombre genérico de *realimentación*. El uso de códigos que son no solo lingüísticos, sino también de relación social, debe dominarse para tomar parte eficientemente en la comunicación. El dominio de esos códigos se adquiere participando de los sistemas culturales donde ellos tienen vigencia. En este sentido, las ciencias naturales, como sistema cultural, poseen códigos propios y el acceso a ellos debe plantearse desde la educación formal (Lemke, 1997, 2002).

El medio escolar supone un contexto diferenciado con sus propios códigos, con su cultura peculiar, que es necesario conocer para participar adecuadamente en él. Existe además una comunicación *mediada*, en la cual los objetos y las instituciones sociales comunican. La escuela como institución comunica, y aquello que se comunica en la educación y en la enseñanza variará de acuerdo al modelo educativo que ella sustente. En la comunicación didáctica se ponen en juego muchos elementos; nos interesa señalar los siguientes, siguiendo a Contreras (1990):

1. Las *fuentes de información* (emisores, textos, materiales, etc.), reguladas por el profesor/a.

2. El *mensaje*. Además del conocimiento académico (currículo formal), el profesor/a pone en juego otros mensajes: sobre las formas de participación adecuadas (relaciones sociales), sobre las actividades que tienen que realizar los estudiantes con los contenidos de la enseñanza. Resulta por ello imposible separar *qué se enseña* de *cómo se enseña*.

3. Las *reglas de participación*. Las clases son ambientes comunicativos diferenciados con reglas propias acerca de cómo y cuándo participar, que además están afectados por la escuela y el sistema educativo, y por el marco más general de la sociedad y la cultura de un pueblo.

A estos tres elementos genéricos de la comunicación en el aula para la enseñanza de los contenidos curriculares, hay que añadir los *constreñimientos específicos* que las ciencias naturales como acervo cultural imponen. En este sentido, hay especificidades propias de la *comunicación científica* que han de ser tenidas en cuenta en la labor del profesorado de ciencias (Izquierdo *et ál.*, 2004, 2007; Izquierdo, 2005; Marbà y Márquez, 2006).

Nicholas Burbules (1999), en un texto ya clásico, plantea la idea de la enseñanza como *diálogo*, entendiendo el diálogo como una forma de comunicación pedagógica. El diálogo es una relación comunicativa “simbiótica” entre pares, que exige un compromiso cognitivo y también emocional. En sus planteos teóricos, este autor distingue entre preguntas *auténticas* o divergentes y preguntas *aparentes* o convergentes. Las preguntas auténticas quedan fundamentalmente abiertas, ya que su respuesta

no está preestablecida; las aparentes (*pseudopreguntas*), en cambio, delimitan artificialmente lo que puede valer como una respuesta satisfactoria, se dirigen a una respuesta específica.

Las pseudopreguntas comunican mensajes implícitos sobre las respuestas deseables (fijadas por el saber del profesor/a), y apelan a la ingenuidad de los estudiantes. En este marco rara vez ellos cuestionan el sentido de la comunicación o introducen preguntas que salven el abismo entre su marco de referencia y el de los profesores (Galagovsky *et ál.*, 1998). Este escenario de *enseñanza-ficción* (Cañal y Porlán, 1987) no es solo responsabilidad del profesorado, sino que las distintas influencias institucionales, como las presiones por cubrir los contenidos y las evaluaciones (basadas en pruebas) del rendimiento de los estudiantes, del profesorado y de la escuelas, ponen a la clase en esta situación.

Burbules (1999) sostiene también que el éxito del diálogo didáctico debería evaluarse por la naturaleza del intercambio comunicativo que se desenvuelve en la relación *dialógica*, no sólo por sus resultados. A la inversa, el fracaso en la comunicación didáctica viene dado por aquello que interrumpe abruptamente la discusión, que determina de antemano ciertas áreas de indagación o que acalla o ahoga ciertos puntos de vista. La situación escolar es muchas veces antidialógica, al igual que gran parte de nuestra sociedad. Para que exista un auténtico juego dialógico debe existir participación, compromiso y reciprocidad entre los participantes (Mortimer y Scott, 2003; Scott *et ál.*, 2006). En este contexto, virtudes como la tolerancia o la paciencia son indispensables.

Diversas instituciones sociales propenden a reforzar ciertas formas de pensar y a desalentar otras; por ejemplo, los sistemas sociales de poder y de privilegio tienden a reforzar las asimetrías en el diálogo viciando la reciprocidad y el respeto que este exige. Las experiencias de castigo o intimidación se dirigen a silenciar “determinadas voces, en ámbitos incluso aparentemente abiertos” (Burbules, 1999: 203). Si la educación muestra las respuestas correctas, se suprime la preferencia por discusiones más interesadas en la indagación, la construcción y los puntos de vista divergentes, estrategias que están en la base de la didáctica de las ciencias actual. Este estilo comunicativo antidialógico, o *autoritario* (Mortimer y Scott, 2003), tiene una incidencia negativa en la calidad de la educación científica, pues entra en abierta contradicción con la propia naturaleza de la ciencia (Jiménez Aleixandre, 1996; Duschl, 1998).

El currículo de ciencias tradicional no reconoce la necesidad del desarrollo de aptitudes comunicativas (Sanmartí, 2003); incluso, en ciertas situaciones, poner de manifiesto virtudes comunicativas puede resultar inseguro, porque entra en contradicción con el modelo de ciencia detentado, que es en cierto sentido *a-retórico* en tanto que *apodíctico* o “autoevidente” (Izquierdo, 2005; Marbà *et ál.*, 2006).

El currículo se centra en cubrir el contenido; las metas educativas se evalúan mediante pruebas en las cuales los resultados que no pueden “medirse” son relegados a una posición subordinada. Existe una concepción que centra el papel del profesor/a en el manejo (control) del aula; el mantenimiento de las condiciones de orden y disciplina se convierte

en un fin en sí mismo. Esta *concepción técnica* de la didáctica tiende a orientar los comentarios de profesorado y estudiantes hacia un *habla de control*. Cuando los estudiantes introducen preguntas o se apartan del tema, los docentes que adhieren a este modelo ven en ello una prueba de que han perdido el control e inician acciones para restituir el orden.

#### Los modelos “didácticos”

Como se adelantó, la expresión de ‘modelo didáctico’ tiene múltiples significados (ver una discusión en Adúriz-Bravo, 2001); este hecho puede tornar problemático su uso en el campo de la didáctica de las ciencias naturales. A los fines de la discusión que sigue, conviene distinguir al menos tres sentidos claramente divergentes de tal expresión:

1. A veces se llama ‘modelo didáctico’, desde un punto de vista que recupera la etimología de la palabra (en griego clásico, *didaskain* es ‘enseñar’), a un *modelo de enseñanza*, es decir, a la configuración praxiológica “ideal” (teórica) de un profesor-tipo que planifica y ejecuta su acción de aula desde una determinada mirada paradigmática (conductista, constructivista, etc.) y, por tanto, homogénea. La didáctica francesa, posicionada “desde el punto de vista del proceso de enseñanza-aprendizaje” (Porlán y Rivero, 2001: 221; la traducción es nuestra), recupera este primer sentido de la terminología de *modèle didactique*, como es el caso del texto de Asoltoli que utilizaremos como insumo principal para nuestro análisis.
2. Otras veces, se reserva la expresión de ‘modelo didáctico’ para designar -de forma abreviada- un modelo teórico (en el sentido de la *visión basada*

*en modelos*: Develaki, 2007) perteneciente a la didáctica de las ciencias naturales como disciplina científica (ver Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2003). En este segundo sentido, el *modelo de cambio conceptual* o el *modelo de ciencia escolar* serían modelos didácticos muy conocidos.

3. Por último, y de forma cada vez más frecuente, se emplea el término ‘modelo didáctico’ para referir a un modelo teórico de las ciencias naturales cuando se lo ha *transpuesto* para el aula, o a una re-representación analógica de ese modelo que auxilia en la enseñanza (ver Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001). En este sentido, los *modelos científicos escolares* y los *modelos analógicos* serían modelos didácticos.

Es importante señalar que, en estos tres casos discutidos, la elección de la palabra ‘modelo’ para referirse respectivamente a una forma de dar clases, a un postulado disciplinar novedoso propuesto por investigadores o a un contenido de enseñanza y sus análogos no es arbitraria ni trivial. En las tres expresiones arriba reseñadas se quiere indicar una cierta forma “fuerte” de concebir las entidades bajo estudio. No se trata *sólo* de conductas, ideas o contenidos, sino de estructuraciones simbólicas de todos ellos que cumplen con los dos requisitos actualmente aceptados para que algo sea considerado un “modelo”<sup>2</sup>:

1. de alguna manera “capturan” lo esencial y nuclear de esas entidades,

2 Seguimos aquí la vasta literatura reciente acerca de los modelos teóricos que circula dentro de nuestra disciplina (ver Adúriz-Bravo, 2001; Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2003; Erduran y Duschl, 2004; Gallego Badillo, 2004; Develaki, 2007).

es decir, son *reconstrucciones teóricas*; y

2. de alguna manera “guían” la intervención sobre la realidad proveyendo de *reglas paradigmáticas* para la acción.

Ahora bien, según cómo el profesor/a conciba desde el punto de vista teórico la enseñanza de su área específica de conocimiento, lleva adelante una manera particular de gestionar su trabajo en el aula, que llamaremos, según la primera de las acepciones discutidas más arriba, modelo “didáctico”. Esta gestión “modélica” del aula, naturalmente, incluye el establecimiento de modos y estilos de comunicación. Astolfi (1997) diferencia tres modelos “didácticos” principales:

1. El *modelo de transmisión*. El conocimiento sería un contenido de enseñanza que se imprimiría en la cabeza de los estudiantes (el “contenedor”) como en una cera blanda (analogía de la *tábula rasa*). Aquí la enseñanza se vale de un esquema de comunicación vertical emisor-receptor (análogo al modelo telegráfico), derivado de la teoría de la información. En este modelo el estudiante es un sujeto pasivo, del cual se espera que ponga atención, sea regular en el trabajo y en el esfuerzo y dé pruebas de voluntad para no quedarse atrás. Se trata de una “pedagogía de ideas claras”: bastará con que el profesor explique claramente, comenzando desde el principio, avanzando progresivamente y citando buenos ejemplos, para que el conocimiento se transmita y se inscriba en la memoria de los estudiantes.

En este primer modelo, el fracaso y el error deben ser evitados. Si pese

a todo se producen, resulta natural una sanción, puesto que su aparición sería responsabilidad del estudiante, quien no habría adoptado la actitud esperada. Este modelo didáctico puede ser adecuado frente a un público motivado e informado, que posee estructuras intelectuales similares a las del profesor/a (más allá de la asimetría de sus conocimientos disciplinarios), que dispone de elementos de conocimiento en el campo de aprendizaje en cuestión, y que aprovecha la exposición sistemática para organizar y reestructurar la información previa (Ausubel *et ál.*, 1983).

2. El *modelo de condicionamiento*, desde la perspectiva conductista. Se considera al estudiante como un agente pasivo; se ignoran los procesos que ocurren al interior de la mente (analogía de la *caja negra*). El aprendizaje resulta de una serie de condicionamientos, se produce por asociación entre estímulos y respuestas y por el posterior refuerzo de las conductas correctas. Se juzga el comportamiento observable al final del aprendizaje (a modo de “salida”, o *output*, de la caja negra). Se trata de una “pedagogía del éxito”, puesto que trata de encontrar los medios eficaces para evitar el error. Los contenidos se dividen en pequeñas unidades, cada una de las cuales se apoya sobre la anterior (estructuración del currículo por objetivos). Si a pesar de ello el error persiste, no es ya responsabilidad del estudiante sino del profesor, o más bien del programa. El error se desconoce como fuente de aprendizaje. Este modelo, a pesar de sus limita-

ciones, suele aplicarse para construir la evaluación, entendiéndola como momento de recogida sistemática de información sobre los logros.

3. El *modelo constructivista*. Esta perspectiva considera al estudiante como un agente activo que construye significados en respuesta a la situación educativa. Reconoce la existencia de la mente y sus procesos. Niega que el estudiante absorba pasivamente la información suministrada por el profesor/a o depositada en los textos. El error ya no es considerado una deficiencia del estudiante ni una falla del profesorado. No se castiga ni evita, se busca como fuente de aprendizaje y de reflexión dentro de un sistema que privilegia la *metacognición*. El modelo constructivista requiere el establecimiento de formas de comunicación dialógicas interactivas (Mortimer y Scott, 2003) en al menos algunos momentos de la enseñanza. En el caso específico de la enseñanza de las ciencias naturales, el modelo constructivista pone al “hablar y escribir ciencias” como uno de los pilares de una genuina actividad científica escolar (Izquierdo *et ál.*, 2004).

### **Objetivo e hipótesis de partida**

El objetivo del presente trabajo fue analizar de qué manera las formas de enseñar a las que dicen adherir algunos profesores/as de ciencias naturales y aquellas que efectivamente se ponen en juego en sus prácticas se relacionan con los esquemas de comunicación que ellos son capaces de establecer en sus aulas, y cómo estos apoyan u obturan la posibilidad de una enseñanza *construc-*

*tivista dialógica*. Las formas de enseñar se miran desde la tipología de modelos “didácticos” de Astolfi; los esquemas de comunicación, desde la tipología de modelos comunicativos de Contreras. Además, se hace un análisis de los registros de comunicación de aula con las categorías teóricas discutidas más arriba.

Desde la teoría, existe una fuerte correlación entre modelos “didácticos” y modelos comunicativos: la enseñanza transmisiva se expresa en una comunicación mayormente telegráfica que tiende a minimizar los ruidos, y la enseñanza constructivista requiere de una comunicación sistémica en donde se ponga el acento en *dar sentido* a lo que se hace, dice y piensa. Sin embargo, estos modelos teóricos “puros” no se encuentran como tales en el profesorado de ciencias naturales. La práctica profesional de un profesor excede los mandatos de su propia teoría implícita, y esta además no es homogénea (Porlán y Rivero, 1998, 2001). Por tanto, partimos de la hipótesis de que en las aulas de ciencias naturales pueden darse formas de enseñanza y de comunicación híbridas y entrecruzamientos entre los elementos característicos de cada modelo teórico. Nuestro objetivo es ver si la voluntad de un profesor/a de ciencias naturales de adherir a una forma de enseñanza queda respaldada por su capacidad de establecer esquemas de comunicación coherentes con ella en momentos específicos de sus clases.

### **Metodología empleada**

Los datos para nuestro análisis fueron principalmente obtenidos por medio de observaciones de clase. Se observaron cinco profesoras de ciencias naturales



con diversidad de formaciones iniciales y de experiencias profesionales. *El foco de la observación estuvo principalmente en las interacciones entre profesorado y estudiantes dentro del aula en clases de ciencias naturales.*

Si bien se registraron también fuera del contexto de las clases algunos otros elementos que podrían resultar relevantes para la investigación (condición socioeconómica de los estudiantes, características edilicias de los establecimientos educativos, cartelería con mensajes, clima institucional, documentación, producciones escritas, etc.), ellos

no serán analizados aquí. Se realizaron además entrevistas informales después de las clases a profesoras y estudiantes, a fin de comentar el desarrollo de las mismas, y entrevistas a las autoridades para obtener más datos sobre las instituciones. Estos datos, al igual que los anteriores, sirvieron para reforzar nuestras interpretaciones y “triangularlas”, pero no son objeto de discusión en este trabajo<sup>3</sup>. Para resumir las condiciones de contexto de nuestra investigación, la tabla 1 expone algunas de las características de la muestra estudiada.

Clase	Institución y características	Profesora	Asignatura y nivel
C1	I1: secundario público	P1	Biología de 3er año (15-16 años)
C2	I1	P1	Biología de 2º año (14-15 años)
C3	I2: secundario privado confesional	P2	Biología de 4º año (16-17 años)
C4	I2	P2	Biología de 4º año
C5	I3: secundario privado laico	P3	Biología de 3er año
C6	I3	P3	Biología de 1er año (13-14 años)
C7	I4: secundario dependiente de la universidad	P4	Biología de 3er año
C8	I4	P5	Taller de introducción a las ciencias naturales, 1er año
C9	I5: secundario privado confesional	P3	Educación para la salud, 5º año (17-18 años)

**Tabla 1.** Muestra de clases observadas.

## Resultados y discusión

### Caso 1

Las observaciones C1 y C2 se realizaron en la misma institución (ver tabla 1), en dos clases dictadas por la misma profesora (P1), con dos grupos de estudiantes diferentes. Durante la clase C1, en el laboratorio, los estudiantes realizaron observaciones de distintos tipos celulares al microscopio, basándose en una

guía de trabajos prácticos. En la clase C2 trabajaron en el aula sobre una guía de investigación acerca de la estructura celular; la guía había sido elaborada previamente fuera de clase utilizando distintos textos.

<sup>3</sup> El análisis empírico completo, incluyendo aquellos elementos que aquí no se discuten, se puede consultar en Levin *et al.* (2004).

Analizando lo observado en el aula desde el punto de vista del modelo “didáctico”, la profesora P1 se inscribiría sin grandes problemas en el modelo de transmisión: en este modelo el estudiante es considerado un sujeto pasivo, del cual se espera que ponga atención. Para esta profesora, el fracaso y el error deberían ser evitados: esto se evidencia en las reiteradas veces en que ella utiliza las frases “ya te lo dije”, “ya les enseñé” y otras por el estilo. La falta de tolerancia que muestran estos intercambios condiciona la posibilidad de un diálogo genuino cercano al del modelo sistémico; ese diálogo, según Burbules (1999), exigiría, además del compromiso cognitivo, un compromiso emocional (interés, confianza, respeto, aprecio, tolerancia, apertura, disposición a escuchar).

En el modelo de *transmisión*, el estudiante absorbe pasivamente la información comunicada por la profesora y por los materiales escritos; no hay genuina construcción de conocimiento. Esto se evidencia en ambas clases, pero particularmente en la clase C2, donde los estudiantes “recitan” la información extraída de los libros. Por ejemplo:

**Profesora (P1):** Bueno, falta la última pregunta. A ver [nombrando a un estudiante]: ¿qué color, forma, tamaño, tienen las células?

**Estudiante (E):** Las células son como globos que presentan grandes variedades.

**P1:** No, está mal.

**E:** ¡Lo copiamos del libro!

Aquí el aprendizaje se desarrolla en su mayoría dentro de un esquema de comunicación unidireccional desde el emisor hacia el receptor, según el modelo telegráfico de Contreras (1990). En este modelo aparecen sólo preguntas conver-

gentes que se dirigen a una respuesta específica y por tanto, delimitan artificialmente lo que puede valer como un diálogo satisfactorio (Burbules, 1990). Se privilegia, además, la respuesta correcta (P1: ¡Ésa es la observación correcta!). El error, como no es visto como una fuente de aprendizaje, es sancionado fuertemente. Por ejemplo:

**E:** Profe, ¿está bien?

**P1:** Así no era. ¡Usted haga lo que quiera, que yo después me llevo el práctico [para corregirlo]!

Según Burbules (1990), experiencias de castigo o intimidación como la anterior llegan a silenciar las voces de quienes tienen menos poder en ámbitos que aparentan ser abiertos, como la escuela. Otro ejemplo de intimidación es:

**P1:** ¡Hay gente que no viene más al laboratorio!

**E:** ¿Quién?

[La profesora no responde.]

Dentro de este modelo didáctico, la profesora trabaja con los estudiantes que “responden” y no cometen errores, de acuerdo con lo que Perkins (1995) llama la *teoría del rendimiento*, que privilegia la capacidad: se piensa que el aprendizaje depende fundamentalmente de la inteligencia de las personas y no de su esfuerzo. Esta concepción beneficia a unos pocos estudiantes y perjudica al resto. La actitud de la profesora hacia quienes ella ve como más dotados les infunde confianza en sí mismos, y aprenden más porque se espera más de ellos. Los “menos dotados”, mientras tanto, quedan relegados de los intercambios comunicativos.

Según Alicia Camilloni (1998), cuando un profesor califica a un estudiante



es frecuente que recurra a apreciaciones personales. En este caso, por ejemplo:

**P1:** [A un estudiante.] No se pinta todo el campo, no haga como [otro estudiante, señalado con el dedo, que, angustiado, pintó todo el campo]. ¡Así no!

En este ejemplo aparece el *efecto de halo*, que se manifiesta en la predisposición a calificar positivamente las nuevas realizaciones de los buenos estudiantes o a la inversa con los tenidos como malos. Este efecto actúa como un prejuicio que impide una consideración más objetiva y justa del rendimiento.

David Perkins (1995) postula el *modelo de la búsqueda trivial*, según el cual el aprendizaje consiste en la mera acumulación de hechos y rutinas este-reotipadas. Este tipo de aprendizaje se evidenciaría en la clase C2, donde se ve un uso excesivo de términos y definiciones científicas vaciadas de contenido: este fenómeno es lo que se denominó *nominalización didáctica* (Galagovsky et ál., 1998). Pero si el estudiante no tiene la posibilidad de aplicar el nuevo conocimiento para lograr objetivos específicos, a menudo aprende hechos que sólo se pueden recordar en contextos limitados, y que, en toda otra situación quedan inertes. Los estudios muestran que la información que es meramente memorizada permanece inerte aunque sea relevante en situaciones nuevas (Bransford y Vye, 1989).

### Caso 2

Las observaciones C3 y C4 se realizaron en una segunda institución, en dos clases impartidas por la misma profesora (P2) y con el mismo grupo de estudiantes (ver tabla 1). Durante la clase C3, los estudiantes realizaron en el laboratorio

un trabajo práctico (titulado “Reconocimiento de sustancias orgánicas”) basándose en una guía. Al día siguiente (clase C4), en el aula, a fin de analizar la experiencia discutieron las preguntas incluidas en esa misma guía.

Consideramos que esta profesora, al igual que P1, se inscribe en un modelo “didáctico” de *transmisión*. En coherencia con esto, el esquema de comunicación que ella deja prosperar en sus clases responde fuertemente al modelo telegráfico. Se supone que el estudiante sólo ha de recibir la información; se demanda su participación mayormente a través de preguntas convergentes:

**P2:** Voy a hacer una pregunta. ¿Quién me responde levantando la mano por la positiva? Tengo un tubo de ensayo con solución de almidón. ¿Qué sucede si escupo en el tubo, y luego agrego reactivo de Fehling? Levanten la mano y *contesten correctamente*. [El énfasis es nuestro.]

**E:** Se degrada con la amilasa salival.

**P2:** ¿Qué pasa con el Fehling si el almidón se degradó parcialmente con la amilasa salival? [Silencio, nadie contesta.] Bueno, *quiero que me contesten correctamente*. [El énfasis es nuestro.] Lo piensan para mañana.

Cuando hay diversidad de respuestas, la profesora generalmente presta atención a las correctas, ampliándolas, acotando algo y exclamando frecuentemente: “¡bien!”, “¡correcto!”, “¡perfecto!”. Las respuestas incorrectas son desoídas o aparece alguna recriminación. Esto sabotea el establecimiento de una construcción colectiva de significados.

A diferencia de lo que vimos en las clases de P1, donde las fallas en el diálogo parecían deberse a una falta de compromiso emocional (sobre todo al

desinterés), en este caso la falla en la comunicación aparece más fuertemente ligada a la concepción de la tarea del profesor centrada en el control: la “disciplina” (buena conducta) se convierte en un fin en sí mismo (Galagovsky *et ál.*, 1998; Burbules, 1999), avalado desde la institución. Como nos refiere la profesora P2 en la entrevista posterior: “La institución se ocupa de la disciplina, que es rigurosa. Las autoridades circulan por la escuela y hay un control estricto de lo que sucede en la misma. Los directores entran frecuentemente a la clase para ejercer el control personalmente”.

La educación no es solo lo que ocurre en el aula; las prescripciones curriculares, los modos de organización de la escuela, las condiciones físicas y materiales también influyen sobre el currículo. Y todas estas variables constituyen las conexiones del aula con las estructuras sociales. Cualquier intento de actuación del profesorado tiene que vérselas con todos estos aspectos (Apple, 1979). La profesora P2 se muestra conforme con la alta injerencia institucional y en algún momento acota que, de este modo, “no tengo que ocuparme de la disciplina y sé que voy a poder terminar con el tema planificado”.

El currículo de ciencias puesto en marcha por la profesora P2 se centra en cubrir el contenido, que se evalúa mediante pruebas escritas (Burbules, 1999). La prueba se utiliza como medio de control:

**P2:** ¡Silencio! Hablamos sobre la prueba que van a dar ustedes. A mí no me interesa la prueba, yo vengo y la tomo.

Aunque en la clase predominan las preguntas convergentes, aparece también alguna pregunta divergente, señal

de la existencia de un posible modelo didáctico híbrido:

**P2:** ¿Qué uso se les ocurre que pueden tener en la vida cotidiana los reactivos que se utilizan para identificar sustancias orgánicas?

### Caso 3

Las observaciones C5 y C6 se realizaron en una tercera institución, en dos clases de biología dictadas por la misma profesora (P3) con dos grupos de estudiantes diferentes (ver tabla 1). En la primera clase (C5), luego de la proyección de un video sobre el tema de los neurotransmisores, explicado y evaluado en clases previas, la profesora entregó un artículo periodístico sobre el cual los estudiantes debían realizar un trabajo escrito que incluía ponerle el título más adecuado y hacer un cuadro sinóptico o mapa conceptual a partir del mismo. Los estudiantes trabajaban con autonomía resolviendo en cada grupo las consignas. La profesora circulaba por los grupos, los estudiantes preguntaban con libertad; el diálogo era fluido y el clima distendido.

En la segunda clase (C6), los estudiantes trabajaron sobre un cartel que reunía las ideas previas que habían surgido sobre el tema de célula en clases anteriores, a partir de la consigna de “anotar las cosas que conocían sobre la célula”. El trabajo de la clase era “ampliar la información sobre las células”. A partir del cartel, la profesora fue leyendo y trabajando “las cosas que ‘1<sup>er</sup> Año’ conoce sobre la célula”.

Por otro lado, se observó a la misma profesora P3 en otra clase (C9) en una institución diferente, en la asignatura de educación para la salud. En esta clase se

realizó una puesta en común sobre la *enfermedad de Chagas-Mazza* (tripanosomiasis americana). Se trató de una clase de cierre luego de la información teórica brindada por la profesora. La actividad en grupos por parte de los estudiantes incluía: encuestas a personas que hubieran vivido en alguna provincia del interior de la Argentina, la proyección de la película argentina *Casas de Fuego* (sobre la vida del médico Salvador Mazza, estudioso de la enfermedad) y la elaboración de un trabajo escrito, en grupos, en el cual se ligaban escenas de la película con los contenidos teóricos y con lo relevado en las encuestas. Sentándose en ronda, cada estudiante, voluntariamente y por turno, compartió con el grupo y con la profesora sus vivencias, sentimientos y dudas generados por el tema. La discusión giró sobre la falta de difusión, en los medios de comunicación, de los alcances de la enfermedad, que no es tomada en cuenta como una problemática sanitaria general en nuestro país.

Estas tres observaciones nos llevan a tipificar que en las clases de esta profesora se establece un esquema de comunicación explicable con el modelo sistémico (Contreras, 1990). La profesora P3 está atenta a la capacidad de los estudiantes para decodificar lo que ella va diciendo o haciendo; a su vez, se dota de sentido colectivo a las intervenciones de los estudiantes. Los mensajes se intercambian mediante distintos recursos semióticos (habla, gesto, imagen fija y móvil, texto) y con distintos códigos; no siempre el uso de los lenguajes es *convergente* (Márquez et ál., 2003, 2007). El uso de códigos de relación social muestra el dominio que la profesora P3 tiene de la situación co-

municativa. Ella hace uso de numerosos recursos que invitan a los estudiantes al diálogo; entre estos recursos apareció frecuentemente el humor:

**P3:** Levanten la mano [aquellos] a los que les suene [a] chino.

**P3:** Otro tema, próximamente en la misma sala.

Sin embargo, a veces se cae en la ironía y se evidencia la asimetría de poder (Galagovsky et ál., 1998):

**P3:** Aquí largaron con las palabras del [juego del] ahorcado.

Como adelantamos, la profesora P3 toma en todo momento lo que los estudiantes dicen, dando lugar a que todos se expresen, permitiendo la elaboración de mensajes complejos producto de todos los actores que participan de la situación comunicativa:

**E:** [Mostrando una foto.] La célula, ¿es lo rosa o lo celeste?

**P3:** La célula es la totalidad. ¡Bien lo que preguntás, Laura!

**E:** Y en los no-vivos... ¿no hay células?

**P3:** ¿Quién pregunta? ¿Qué hay?, ¿qué llega a haber?, ¿cuál es la organización más compleja?

[Otros estudiantes tratan de contestar.]

**P3:** Paren, dejen pensar a quien le acabo de preguntar. [Al estudiante.] Olvidate que estoy yo, decí lo que pensás.

Todos los que participan en la clase son simultáneamente emisores y receptores; se hace uso frecuente de la realimentación para reconocer la comprensión correcta:

**P3:** Para hacer esa comida, ¿qué necesita?

E: Agua, sal, tierra, tallos, luz...

P3: Agua, sal... ¿Conocés la partes de la planta?

E: Tallo, sépalo, pétalo.

P3: De las partes de la planta, ¿hay alguna que no reciba luz?

E: La raíz.

P3: Una célula de la raíz, ¿es una célula vegetal? Todo eso lo vamos a ir revisando en varias clases.

En estas clases apareció un fuerte compromiso emocional de la profesora P3 transmitido a sus estudiantes. Los diálogos transcritos denotan interés, confianza, respeto, tolerancia y disposición a escuchar; se establece entonces lo que Burbules (1999) considera una genuina comunicación pedagógica, de carácter dialógico e interactivo (Mortimer y Scott, 2003).

Las preguntas auténticas (que quedan fundamentalmente abiertas, ya que la profesora no preestablece la respuesta) son las que más aparecen en los diálogos que observamos:

E: Me contaron que los enfermos del [mal de] Chagas deben tomar mucha leche.

P3: ¡Cuántas cosa raras que me contaron! [Se refiere también al comentario previo de otra estudiante sobre que, para evaluar si su sobrino era portador de la enfermedad, lo hacían picar por vinchucas sanas.] Es otra cosa que tengo que averiguar para la próxima.

Otra E: Los chagásicos toman muchos antibióticos. Capaz que por eso toman mucha leche.

P3: Tenés razón, para recomponer la flora intestinal. ¡Muy bien, señora! ¡Cómo razona!

La profesora P3 permanentemente da oportunidades para que los estudiantes

puedan aprender a hablar, escribir y pensar acerca de los modelos científicos (Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2003; Izquierdo *et ál.*, 2004). Según Lemke (1997, 2002), capacitar a los estudiantes en el uso del lenguaje especializado de la ciencia es esencial para alcanzar los fines de la educación científica, preparándolos para usar la ciencia en aquellos actos que directamente afecten sus propios intereses. Esta profesora, a través de actividades como la redacción de monografías y el análisis de artículos periodísticos, permite que los estudiantes aprendan a hablar y escribir en forma más rica y compleja sobre asuntos sociocientíficos, trabajando las ideas previas que ellos traen y discutiendo los modelos del sentido común sobre esos temas. En clase se analiza la manera en que se habla de ellos desde el sentido común y desde la ciencia.

La profesora P3 hizo hincapié en la comprensión de los términos científicos que la clase utilizaba, dándoles un sentido, evitando el uso excesivo de los mismos (“Levanten la mano a los que les suene chino”, “Aquí largaron con las palabras del ahorcado”). También enfatizó el carácter de la ciencia como actividad humana en la discusión que se suscitó en la clase acerca de la película *Casas de fuego*, reflexionando sobre las trabas que las sociedades científicas ponen a sus miembros cuando ellos se enfrentan al poder hegemónico.

Todos estos recursos contribuyen a una construcción activa del conocimiento por parte de los estudiantes (Bransford y Vye, 1989). Decimos por ello que el modelo “didáctico” en el que se inscribe la profesora es constructivista: considera al estudiante como un

agente activo que construye significados científicos escolares en respuesta a la situación educativa. En ningún momento la profesora P3 trabaja con el supuesto de que sus estudiantes no operan con la información suministrada por ella misma o por los libros. No se castiga o evita el error, sino que se busca usarlo como fuente de aprendizaje (Astolfi, 1997).

#### Casos 4 y 5

Las observaciones C7 y C8 se realizaron en una cuarta institución (ver tabla 1), en dos clases dictadas por distintas profesoras y con distintos grupos de estudiantes. La clase C7 consistió en la proyección de un video que integraba los conocimientos de mitosis y meiosis. En primera instancia la profesora P4 hizo un pequeño repaso del proceso de mitosis con el objetivo de discutir y resaltar distintos aspectos sobre el proceso, que aparecían en el video. Para terminar la clase, esquematizaron en conjunto el proceso de meiosis, resaltaron las diferencias con la mitosis y ubicaron ambos procesos en las células y órganos donde se producen en distintos organismos.

La estructura de la clase fue un diálogo guiado por la profesora, cuyo objetivo parecía ser el de integrar los conocimientos adquiridos. Los estudiantes contestaban generalmente en forma correcta a las preguntas de la profesora, y aunque algunas veces ella tomaba la respuesta incorrecta, en general remarcaba la respuesta correcta, que usaba como base para una nueva pregunta. Cada tanto estimulaba a los estudiantes a sostener la secuencia dialógica, con frases como: “No se distraigan”, “No abandonen”, “Perdés la ilación de lo que hablamos”.

En esta observación, la profesora P4 pareció inscribirse con bastante coherencia en un modelo conductista (Astolfi, 1997), tal vez elegido por ella porque se adaptaba mejor a los objetivos *de refuerzo* de su clase, que eran integrar y repasar los conocimientos acerca de temas tratados en clases anteriores. Desde una perspectiva conductista, el estudiante aprende mediante una serie de condicionamientos: los diálogos muestran que la profesora busca todo el tiempo la asociación entre estímulo, respuesta y refuerzo de las conductas deseadas. Se infiere la búsqueda de una pedagogía del éxito, puesto que la profesora trata de encontrar los medios para evitar el error privilegiando las respuestas correctas (“¡Exactamente!!!”) y desconociendo las incorrectas. El modelo conductista suele aplicarse para afianzar y evaluar los logros alcanzados en el aprendizaje de un tema; esto puede explicar por qué la profesora lo eligió para su clase.

Las preguntas son predominantemente aparentes (pseudopreguntas):

**P4:** Previo a la división celular mitótica, ¿qué ocurre con los cromosomas?

**E:** Se duplican.

**P4:** Por lo tanto son cromosomas...

**E:** ... bivalentes...

**P4:** ... porque tienen el doble de información genética.

**P4:** [Señalando una etapa de la meiosis.] Por lo que observan, ¿de qué etapa se trata?

**E:** Metafase.

Otros Es: Profase.

**P4:** Algunos dijeron metafase; todavía no nos mostraron los cromosomas en la placa ecuatorial. ¿Qué ocurre en la profase?

E: Puede haber intercambio de información.

P4: En esto nos detenemos. Puede haber entrecruzamiento de material genético, que nos explica....

E: ... la variación...

P4: ... la variación que encontramos en las gametas. Puede haber entrecruzamiento de cromosomas porque como dijimos se ocupan...

E: ... de un mismo carácter.

Algunos profesores, cuando hacen preguntas a sus estudiantes, tienden a ajustarse al clásico modelo de *iniciación-respuesta-evaluación* (IRE). Esto se ve muy claro en el diálogo anterior, en la secuencia “nos explica (I)... la variación (R)... en las gametas (E)”, que muestra un intento de co-construcción dialógica forzada. Las pseudopreguntas sirven para mantener una tosca apariencia de un aula orientada hacia la discusión, pero denotan el deseo de la profesora P4 de mantener un verdadero control de la comunicación. En este marco rara vez los estudiantes cuestionan el sentido de lo que se dice o introducen preguntas que salven el abismo entre su marco de referencia y el de la ciencia escolar presentada por la profesora; se produce entonces un severo vaciamiento de significaciones científicas (Galagovsky *et ál.*, 1998).

Por otra parte, las pseudopreguntas le sirven a la profesora P4 para guiar a los estudiantes en los sucesivos pasos de un razonamiento complejo (Burbules, 1999), y en este sentido encuentran su utilidad como “andamios”, desde la perspectiva vigotskiana. Este sería un caso interesante en el cual una comunicación relativamente lineal (en modelo orquesta restringido) permite sin embar-

go el despliegue de estrategias de cariz constructivista.

En una segunda clase (C8), dada por otra profesora (P5), que observamos en esta misma institución, se trabajó con mezclas heterogéneas y homogéneas, como parte del estudio de la composición química de un río que surcaba una ciudad ficticia que los estudiantes habían creado. A lo largo de todo el año la clase trabaja sobre esta ciudad situándose en distintos roles: científicos, legisladores, pobladores, etc. Se comenzó con el sistema urbano, analizando el agua en él. Durante la clase observada los estudiantes trabajaron con mezclas heterogéneas y homogéneas del río, construyeron en grupos modelos de soluciones con masillas de distintos colores, que representaban los distintos átomos.

La profesora P5 inició el nuevo tema pidiendo ejemplos de mezclas homogéneas, y luego entre todos acordaron una definición sobre ambos tipos de mezclas y discutieron los factores que influyen en la solubilidad. Los estudiantes trabajaron solos y la profesora circulaba entre las mesadas; los estudiantes consultaban distendidamente y se los veía comprometidos con la tarea. Había un ambiente amable y participativo.

Decidimos considerar que la profesora P5, al igual que la profesora P3, sostiene una práctica que se inscribe en su mayoría en un modelo constructivista: toma el error como fuente de aprendizaje, usa preguntas abiertas, considera esencial la participación cognitiva y lingüística de los estudiantes. El modelo de comunicación que parece establecerse es sistémico durante buena parte del tiempo de tarea. Esto se ve en:



1. El uso de *modelos y analogías* (P5 usa una analogía para que los estudiantes entiendan el modelo de solución).
2. El establecimiento de *puentes entre el lenguaje coloquial y científico*:

**P5:** Vamos a hacer otros modelos pero no con masilla, para que no se saturen. En lenguaje cotidiano “saturarse” quiere decir estar harto, cansado. Pero las soluciones no se cansan.

3. La *aplicación de los contenidos científicos* en contextos cotidianos, que apunta a una enseñanza de las ciencias ligada a la comprensión:

**P5:** En la cocina hacemos mezclas homogéneas ¿Cuáles?

**Es:** Jugo, agua con azúcar, agua con sal...

Perkins (1995: 40) propone una enseñanza basada en la retención, la comprensión y el uso activo del conocimiento, ya que “las investigaciones indican que los alumnos aprenden más cuando organizan los hechos, los relacionan con el conocimiento anterior, utilizan asociaciones visuales, se examinan a sí mismos y elaboran y extrapolan lo que están leyendo o escuchando”. Bransford y Vye (1989), por su parte, sostienen que el conocimiento debe ser construido activamente por los estudiantes, pues si ellos no tienen la posibilidad de usar la nueva información para lograr objetivos específicos, a menudo sólo recuerdan los contenidos científicos en contextos restringidos, y estos no soportan la aplicación ni la transferencia. Todo ello se manifiesta hasta cierto punto en el uso del diálogo genuino que hace esta profesora.

## Conclusión

Este trabajo representa un acercamiento modesto al análisis de la comunicación en el aula de ciencias naturales y su relación con las formas de enseñanza *declaradas y efectuadas*. Dentro del recorte que implican nuestras observaciones, a partir del análisis de las clases observadas surgen las siguientes apreciaciones:

1. En las clases observadas en las cuales se reconocen muchos elementos del modelo *constructivista* de enseñanza (C5, C6, C8 y C9), el esquema de comunicación que se establece en el aula se ajusta gran parte del tiempo a un modelo de tipo *sistémico*. En este sentido, las profesoras (P3 y P5) que adhieren genuinamente (y no sólo desde la declaración) al constructivismo son capaces de generar espacios de comunicación dialógica que permitan la construcción, negociación y el compartir de significados. En estas clases, aparece un fuerte compromiso emocional por parte de las profesoras, que sus estudiantes se apropiaban provechosamente. Las preguntas auténticas, de indagación (Duschl, 1998), eran las que más aparecían en los diálogos que se establecían entre profesoras y estudiantes.
2. En las clases observadas en las cuales las profesoras, *contrariando sus propios dichos*, recreaban modelos de enseñanza por *transmisión o por condicionamiento* (clases C1, C2, C3, C4 y C7), la comunicación seguía un esquema lineal de *emisor a receptor* (Astolfi, 1997), representable mediante el modelo *telegráfico* (Contreras, 1990). También emergía a veces un modelo orquestal bastante res-

trictivo, con secuencias IRE: en estas clases aparecían casi únicamente preguntas convergentes que se dirigían a una respuesta específica, típicas de los modelos de enseñanza tradicionales. Las pseudopreguntas usadas comunican mensajes implícitos con las respuestas deseables por el docente; se apoyan en la ingenuidad comunicativa de los alumnos, que no desenmascaran el vaciamiento del lenguaje científico. En estas clases, los estudiantes rara vez cuestionaron el significado de lo que se estaba enunciando o introdujeron participaciones para salvar el abismo entre su marco de referencia y el de las profesoras. La preocupación por el control de la situación empobreció el diálogo.

3. Algunas profesoras que manifiestan adherir a un modelo constructivista no reconocen en el error una fuente de aprendizajes científicos. Si el error es negado o ignorado, el diálogo necesariamente se empobrece, ya que la libertad que tienen los estudiantes para plantear sus dudas es limitada, y el diálogo se limita a secuencias más o menos establecidas. El acercamiento de las profesoras P3 y P5 al modelo constructivista, que intentó tomar el error como fuente de aprendizaje sin castigarlo ni evitarlo, permitió que se estableciera un diálogo abierto en el que los estudiantes participaron con más libertad, con mayor grado de compromiso, mayor motivación y más creatividad.
4. Acordamos con Lemke (1997) en que un diálogo didáctico abierto permitió a las profesoras P3 y P5 desarrollar oportunidades para:

- Discutir las teorías de sentido común sobre ciertos temas y relacionarlos con la manera en que se habla de ellos desde la ciencia.
- Tender puentes entre el lenguaje coloquial y el científico.
- Preparar a los estudiantes para usar la ciencia en la fundamentación de situaciones cotidianas.
- Enfatizar el carácter de la ciencia como actividad humana.

Otro punto de importancia es que, cuando se dan en el profesorado de ciencias concepciones teóricas inhomogéneas de la tarea de enseñar (Porlán y Rivero, 1998, 2001), la adherencia a determinados modelos de enseñanza puede depender fuertemente de factores contextuales, algunos de los cuales señalamos en el análisis de datos: la finalidad de la clase, el *ethos* y el clima institucional, el apoyo de los directivos, los materiales de aula que se están trabajando.

En nuestra opinión, el establecimiento de un esquema más sistémico para la comunicación dentro de un aula de ciencias naturales con enfoque genuinamente constructivista favorecería una reconstrucción *racional y razonada* (Izquierdo et al., 2004) del conocimiento científico por parte de los estudiantes. Permitiría que los estudiantes piensen el mundo natural valiéndose del conocimiento teórico que aprenden, lo que constituye el núcleo del llamado *modelo cognitivo de ciencia escolar* (Izquierdo et al., 1999; Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2003). En este sentido, usos de la comunicación más obturadores o clausurantes, tales como el habla de control, las pseudopreguntas con selección de las respuestas “esperadas”, la nomi-



nalización que “vacía” contenidos, o la ironía usada como elemento de poder, no vehiculan adecuadamente las es-

trategias didácticas propuestas por el constructivismo. ▣

## Referencias

- Adúriz-Bravo, A. (2001). *Integración de la epistemología en la formación del profesorado de ciencias*. Tesis doctoral. Bellaterra: UAB. [En línea.]
- Apple, M. (1979). *Ideology and curriculum*. Londres: Routledge & Kegan Paul.
- Astolfi, J.-P. (1997). *Aprender en la escuela*. Santiago de Chile: Dolmen.
- Ausubel, D., Novak, J. y Hanesian, H. (1983). *Psicología educacional: un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas.
- Bransford, J. y Vye, N. (1989). A perspective on cognitive research and its implications for instruction. En Resnick, L. y Klopfer, L. (eds.). *Toward the thinking curriculum: Current cognitive research*, 173-205. Alexandria: Association for Supervision and Curriculum Development.
- Burbules, N. (1999). *El diálogo en la enseñanza: teórica y práctica*. Buenos Aires: Amorrortu.
- Camilloni, A. (1998). Las apreciaciones personales del profesor. Publicación interna de la Cátedra de *Didáctica I* de la Facultad de Filosofía y Letras. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.
- Cañal, P. y Porlán, R. (1987). Una experiencia de aprendizaje por investigación directa del medio en la formación de maestros. *Revista de Educación*, 284, 273-294.
- Contreras, J. (1990). *Enseñanza, currículum y profesorado*. Madrid: Akal.
- Develaki, M. (2007). The model-based view of scientific theories and the structuring of school science programmes. *Science & Education*, 16(7), 725-749.
- Duschl, R. (1998). La valoración de argumentaciones y explicaciones: Promover estrategias de retroalimentación. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(1), 3-20.
- Erduran, S. y Duschl, R. (2004). Interdisciplinary characterizations of models and the nature of chemical knowledge in the classroom. *Studies in Science Education*, 40, 111-144.
- Galagovsky, L. y 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., Bonan, L. y Adúriz-Bravo, A. (1998). Problemas con el lenguaje científico en la escuela. Un análisis desde la observación de clases de ciencias naturales. *Enseñanza de las ciencias*, 16(2), 315-321.
- Gallego Badillo, R. (2004). Un concepto epistemológico de modelo para la didáctica de las ciencias experimentales. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 3(3). [En línea.]

- Izquierdo, M. (2005). Las estructuras retóricas de los libros de texto. *Tarbiya*, 36, 11-34.
- Izquierdo, M. y Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological foundations of school science. *Science & Education*, 12(1), 27-43.
- Izquierdo, M. y Aliberas, J., con la colaboración de Adúriz-Bravo, A. (2004). *Pensar, actuar i parlar a la classe de ciències: Per un ensenyament racional i raonable*. Bellaterra: Servei de Publicacions de la UAB.
- Izquierdo, M., Espinet, M., García, M. P., Pujol, R.M. y Sanmartí, N. (1999). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, 79-91.
- Izquierdo, M., Marzábal, A., Márquez, C. y Gouvea, G. (2007). Experimental stories in science textbooks. Paper presentado en la 7th *ESERA (European Science Education Research Association) International Conference*, Malmö, Suecia.
- Jiménez Aleixandre, M. P. (1996). *Dubidar para aprender*. Vigo: Edicións Xerais de Galicia.
- Lemke, J. (1997). *Aprender a hablar ciencia*. Barcelona: Paidós.
- Lemke, J. (2002). Enseñar todos los lenguajes de la ciencia: Palabras, símbolos, imágenes y acciones. En Benlloch, M. (ed.). *La educación en ciencias: Ideas para mejorar su práctica*, 159-186. Barcelona: Paidós.
- Levin, L., Ramos, A. M. y Adúriz-Bravo, A. (2004). Relaciones entre el modelo didáctico al que adhieren los profesores de ciencias naturales y el modelo comunicativo que establecen en sus aulas. Paper presentado en el *I Congreso de Educación en Ciencia y Tecnología*, San Fernando del Valle de Catamarca, Argentina.
- Marbà, A. y Márquez, C. (2006). Learning to read biology (and reading to learn biology). Paper presentado en la *ERIDOB (European Researchers in Didactics of Biology) 2006 International Conference*, Londres, Reino Unido.
- Marbà, A., Márquez, C. y Prat, À. (2006). La lectura en el proceso de aprendizaje de los modelos científicos. En Quintanilla, M. y Adúriz-Bravo, A. (eds.). *Enseñar ciencias en el nuevo milenio: Retos y propuestas*. Santiago de Chile: Ediciones de la PUC.
- Márquez, C., Izquierdo, M. y Espinet, M. (2003). Comunicación multimodal en la clase de ciencias: el ciclo del agua. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(3), 371-386.
- Márquez, C.; Izquierdo, M. y Espinet, M. (2006). Multimodal science teachers' discourse in modelling the water cycle. *Science Education*, 90(2), 202-226.
- Mortimer, E. y Scott, P. (2003). *Meaning making in secondary science classrooms*. Buckingham: Open University Press.
- Perkins, D. (1995). *La escuela inteligente*. Barcelona: Gedisa.
- Porlán, R. y Rivero, A. (1998). *El conocimiento de los profesores*. Sevilla: Díada.
- Porlán, R. y Rivero, A. (2001). Nature et organisation du savoir professionnel enseignant «souhaitable». *Aster*, 32, 221-251.
- Rice, S. (2005). Teaching and learning through story and dialogue. *Educational Theory*, 43(1), 85-97.
- Sagastizábal, M. Á. (coord.) (2006). *Aprender y enseñar en contextos complejos*. Buenos Aires: Novedades Educativas.

- Sanmartí, N. (2002). *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria*. Madrid: Síntesis.
- Sanmartí, N. (coord.) (2003). *Aprendre ciències tot aprenent a escriure ciència*. Barcelona: Edicions 62.
- Sarramona, J. (ed.) (1988). *Comunicación y educación*. Barcelona: CEAC.
- Scott, P. y Ametller, J. (2007). Teaching science in a meaningful way: Striking a balance between 'opening up' and 'closing down' classroom talk. *School Science Review*, 88(324), 77-83.
- Scott, P., Mortimer, E. y Aguiar, O. (2006). The tension between authoritative and dialogic discourse: A fundamental characteristic of meaning making interactions in high school science lessons. *Science Education*, 90(4), 605-631.
- Sierra, F. (2000). *Introducción a la teoría de la comunicación educativa*. Sevilla: MAD.
- Watzlawick, P., Beavin, J. H. y Jackson, D. D. (1981). *Teoría de la comunicación humana. Interacciones, patologías y paradojas*. Barcelona: Herder. (Edición original en inglés de 1967).

# Una construcción histórico-epistemológica del modelo del octeto para el enlace químico

Sulma Urbina Duarte\*  
Rómulo Gallego Badillo\*\*  
Royman Pérez Miranda\*\*  
Adriana Patricia Gallego Torres\*\*\*

Artículo recibido: 16-8-2006 y aprobado: 30-4-2008

## A historical and epistemological construction of the octete model to the chemical bond

■ **Resumen:** En este artículo se presenta una reconstrucción histórico-epistemológica del modelo del octeto, para demostrar que el concepto de enlace químico se elaboró inicialmente como una representación icónica. El trabajo se realizó con profesores en formación avanzada, del programa de Maestría en Docencia de la Química, de la Universidad Pedagógica Nacional. Se pretendió avanzar en la problemática de la construcción de modelos científicos en el aula.

**Palabras clave:** Modelo científico, modelación, formación de profesores de ciencias.

■ **Abstract:** In this paper the historical and epistemological construction of the octete model is presented in order to demonstrate that the concept of chemical bond was initially written as an iconical representation. This study was carried out with teachers that belong to the Magister program in Chemistry teaching at Pedagogica Nacional University. It was expected to advance in the scientific models construction for the classroom.

**Key words:** Scientific model, modeling, science teacher's education.

\* Candidata a Magíster en Docencia de la Química. [sulmau@starmedia.com](mailto:sulmau@starmedia.com).

\*\* Profesores de la Universidad Pedagógica Nacional. Grupo de Investigación Representaciones y Conceptos Científicos, Grupo IREC. [rgallego@uni.pedagogica.edu.co](mailto:rgallego@uni.pedagogica.edu.co); [royman@uni.pedagogica.edu.co](mailto:royman@uni.pedagogica.edu.co).

\*\*\* Profesora de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. [Adriana.P.Gallego@uv.es](mailto:Adriana.P.Gallego@uv.es).

## Introducción

La construcción de modelos científicos en el aula, con estudiantes y con profesores de ciencias en formación, es uno de los nuevos campos de investigación en didáctica de las ciencias; campo este que se conoce como *modelación o modelado*. Inscritos en esta problemática, los directores del grupo IREC han adelantado un trabajo con profesores en formación avanzada y en formación inicial. El punto de partida fue la crítica que se hizo al empleo de la concepción de modelo de Giere (1990), en el sentido de que esta no puede ser aplicada a todas las ciencias de la naturaleza, en particular a la química, dada la diferencia en su construcción histórica con respecto a la de la física (Greca y Dos Santos, 2005).

Las revisiones histórico-epistemológicas permiten concluir que la química se constituyó como una de las ciencias de la naturaleza, siguiendo un lenguaje conceptual y metodológico distinto del seguido por los físicos. Este lenguaje, de carácter hipotético-deductivo, es el que ha adquirido pleno significado para la construcción y modificación paulatina de modelos icónicos o gráficos, mientras que en la física han predominado los modelos simbólicos. En consecuencia, para la elaboración de una didáctica de esta ciencia, es necesario aproximarse a la historia de esas construcciones y modificaciones, con miras a que profesores en formación avanzada y en formación inicial se introduzcan en una comprensión de cómo la comunidad de químicos le han dado a su actividad un estatuto científico particular.

## La categoría de modelo científico

Muchos son los especialistas que se han ocupado de precisar esta categoría (Scheler, 1936; Hanson, 1977). Otra especialista que se ocupa de discernir sistemáticamente acerca de la categoría de modelo es la profesora Lombardi (1998), quien se adentra en la relación que existe entre los modelos de la física y los modelos matemáticos. Puntualiza que estos últimos se ocupan de los sistemas axiomáticos o conjunto de fórmulas, relacionadas deductivamente mediante una lógica subyacente y que el contenido semántico de un modelo matemático, se establece cuando se procede a darle una interpretación al sistema, asignándole a cada término una referencia que pertenece a un dominio previamente establecido. Aclara que no todo modelo científico tiene como referente el sistema real o natural del cual pretende dar cuenta. En el caso de la química, Tomasi (1999) clasifica los modelos en materiales y abstractos, y estos últimos, a su vez, en icónicos, analógicos y simbólicos. Subraya que los científicos establecen jerarquías de modelos o modelos de modelos, por exigencias de su actividad.

El modelo será icónico o gráfico, cuando el objeto de saber no es directamente accesible a una observación primera, no mediada instrumentalmente; una no mediación en virtud de que el estado de la investigación tecnológica no ha diseñado y construido los instrumentos requeridos. Afírmese que el modelo icónico que los químicos, a partir del modelo atómico de Dalton,

fueron construyendo paulatinamente para representar la estructura molecular de los materiales, tuvo su contrastación positiva, primero con la síntesis de la urea y después con la de los azúcares existentes en la naturaleza, lo cual les indicó que era admisible. Luego, esa contrastación positiva se reforzó con la síntesis de la primera sustancia no existente en la naturaleza, la baquelita, a la que le siguió la de la sacarina.

El modelo será analógico cuando esas concepciones de partida tienen como fundamento un constructo técnico o tecnológico, mediante el cual se establece que las características e interacciones pueden ser representadas idealizando las propias de ese constructo. Podría señalarse al respecto la “mesa de billar” para el modelo cinético molecular de los gases y la máquina térmica ideal de Carnot para la termodinámica clásica. Este tipo de modelo fue introducido por los químicos, cuando acudieron a esta termodinámica para dar cuenta de la estabilidad de los materiales y la cinética y la dirección de los procesos químicos.

El modelo es simbólico cuando se reformula el analógico, en virtud de que la estructura conceptual y metodológica se transforma para ser un conjunto de expresiones matemáticas en términos de ecuaciones diferenciales lineales, en las que se recogen las leyes que gobiernan los fenómenos que existen, puesto que se han hecho objeto de estudio mediante un sistema y ese modelo. La introducción de los modelos simbólicos en la química se da a partir de los trabajos del grupo de Manchester, liderado por el profesor Tomson. Ocurrió con la explicación dada a los experimentos con los tubos de descarga, la reconsideración

de las leyes electroquímicas de Faraday y el fenómeno de la radiactividad. La consecuencia fue el abandono definitivo del modelo icónico de Dalton. Los desarrollos posteriores que condujeron a la mecánica de matrices de Heisenberg, la cuantificación de la energía por Planck y la mecánica ondulatoria de Schrödinger, fueron la base para nuevas explicaciones del enlace químico: el enlace de valencia y el del orbital molecular.

No obstante la admisión de estos modelos simbólicos, los químicos, dentro de su objeto de conocimiento, cual es el de dar cuenta de la composición de la materialidad del mundo, de construir representaciones de esa composición, han puntualizado que ese objeto no es la atomicidad sino la molecularidad (Gallego Badillo, Pérez Miranda y Torres de Gallego, 1995; Hoffmann, 1997). Para la síntesis de nuevos materiales acuden a las representaciones icónicas, (Ihde, 1984), a partir de las cuales han demostrado que su ciencia, distinta de la física, es productiva y ha transformado el mundo de las relaciones entre los seres humanos. Hay, entonces, una justificación para una didáctica de la química fundamentada en la reconstrucción histórica de estos modelos icónicos o gráficos.

### **Reconstrucción de modelos científicos y formación de profesores**

La comunidad de especialistas en didáctica de las ciencias de la naturaleza ha venido ocupándose de la construcción en el aula de modelos científicos, tanto con profesores de ciencias en formación como con docentes universitarios de estos profesores (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001; Justí, 2002; Oliva, Aragón,

Bonat y Mateo, 2003; Islas y Pesa, 2003; 2004). Los resultados obtenidos hablan a favor de que las expectativas en estos procesos no sean enteramente satisfactorias. Una hipótesis trabajada en el Grupo IREC postula que esto podría deberse, entre otras causas, al hecho de que la educación habitual en ciencias ha estado restringida al dominio de una aproximación empiriopsicista, en su reducción tecnicista.

Por un lado, esta aproximación epistemológica suele omitir la necesaria revisión histórica en el aula, y los procesos comunitarios que condujeron a la construcción de los modelos científicos que, por una razón u otra, son convertidos en contenidos curriculares. Por otro, tal reducción suele limitar esos contenidos a las definiciones de los conceptos científicos (Mosterín, 1978) y a la repetición de los algoritmos requeridos para la resolución de ejercicios de lápiz y papel y para la ejecución mecánica de prácticas de laboratorio. Estas definiciones y los algoritmos correspondientes son transmitidos verbalmente, a la espera de un aprendizaje memorístico.

Al aceptar estos resultados y las características del ejercicio habitual de los profesores de ciencias, en la Universidad Pedagógica Nacional, dentro del programa de Maestría en Docencia de la Química, los directores del Grupo IREC decidieron adentrarse en la didáctica de la modelación con un grupo de profesores de química en formación avanzada. Conscientes de que el objeto de saber y de investigación de los químicos ha sido delimitado acudiendo a la categoría de modelo icónico o gráfico, optaron por adelantar el presente trabajo de reconstrucción histórica en torno a la propues-

ta del octeto para el enlace químico. Se tuvo como guía la recomendación de que acudir a la historia (Matthews, 1994) es una de las estrategias metodológicas que pueden rendir mejores frutos, cuando la intencionalidad es la de introducir a los profesores de química en formación avanzada en el problema didáctico de la reconstrucción de modelos científicos, en este caso el del octeto.

Para tal efecto, el proceso debía objetivarse mediante el sometimiento de lo elaborado a la comunidad de interesados en esta actividad. En este sentido y después de las respectivas consultas bibliográficas, el compromiso primero fue la redacción de un documento borrador, con miras a su revisión por parte de tres pares académicos. Luego de realizar las correcciones sugeridas por esos pares, la siguiente actividad fue la de presentar una sustentación pública, especialmente convocada para tal efecto; sustentación que fue igualmente evaluada después por los integrantes del Grupo IREC.

La orientación metodológica se centró en la identificación y caracterización de las concepciones elaboradas por estos profesores en formación avanzada en torno a modelo científico, la razón de sus clasificaciones, los fundamentos de la taxonomía de los mismos y en particular la de modelo químico o icónico; las concepciones históricas de las ciencias y la necesidad de estas para una didáctica de la modelación en química. Esas identificaciones y caracterizaciones se realizaron con base en las lecturas recomendadas, las cuales fueron objeto de análisis y discusión en el Grupo IREC.

De la misma manera se procedió con las lecturas de los originales disponibles sobre la génesis y desarrollo del

modelo icónico del octeto. Las discusiones giraron en torno a, primero, las versiones lineales de esa reconstrucción y, segundo, el potencial didáctico de la misma en el trabajo con profesores en formación inicial y con estudiantes de educación media.

### **La construcción histórica del modelo del octeto**

El primer modelo icónico para el átomo de los químicos lo propone Dalton, en su *A new sistem of chemical phylosphy*, publicada en 1807, específicamente en los capítulos “Acerca de la constitución de los cuerpos” y en “Acerca de la composición química”. Dalton representa los átomos con esferas y círculos, introduciendo puntos y rayas para diferenciar las distintas sustancias simples y compuestas identificadas en su tiempo. Desde su modelo atómico, Dalton promulga la *Ley de las proporciones múltiples*, al mismo tiempo que Gay-Lussac, la de *los volúmenes de combinación* y Proust, la de *las proporciones definidas o constantes*. Anótese que Dalton no aceptó la de los volúmenes de combinación. Estas leyes y el modelo icónico de Dalton fueron admitidos por Berzelius (Lockemann, 1960), el químico y profesor más influyente de la época.

Para explicar la extraña aritmética química de la ley de los volúmenes de combinación, Avogadro, en 1811, formula la hipótesis que lleva su nombre; hipótesis que tardó varios años en ser admitida por la comunidad de especialistas (Lockemann, 1960). Laurent, basándose en Avogadro, define los conceptos de *peso molecular*, *molécula* y *átomo*. En este contexto de análisis y reconceptualizaciones, Wichelhaus pro-

pone el concepto de valencia para denominar la atomicidad, en las discusiones sobre la estructura de los compuestos orgánicos. Frankland, en 1852, recoge el concepto de valencia y lo apunala desde las leyes de las proporciones definidas y múltiples (Gallego Badillo, Pérez Miranda, Uribe Beltrán, Cuéllar Fernández y Amador Rodríguez, 2005).

Dentro de esta problemática conceptual y metodológica, A. Kekulé, en 1857, se decidió por la tetravalencia del carbono y defendió el modelo de las cadenas de átomos de carbono que había propuesto F. Rochleder, en 1852. A. Blutero crea el concepto de estructura molecular (Lockemann, 1960). A. S. Couper fue el primero en representar las cuatro “afinidades del carbono” mediante una representación gráfica, en la que une cada carbono con una línea, dándole concreción a la representación estructural de las moléculas orgánicas (Schneer, 1975). Como consecuencia de estos desarrollos, los químicos reformularon paulatinamente el modelo icónico inicial de Dalton; reformulación que los conduciría a la síntesis de las moléculas existentes en la naturaleza y al diseño y fabricación en el laboratorio de nuevos materiales. La representación icónica modificada, como forma de comprensión e intervención en una materialidad no observable a simple vista, se estableció como un recurso conceptual y metodológico consensuado dentro de esta ciencia (Leidler, 1995).

Por su parte, los físicos entran a ocuparse del problema de la estructura última de la materialidad, específicamente de la continuidad o discontinuidad de la constitución de la misma. Teniendo como base la electrodinámica, los pro-

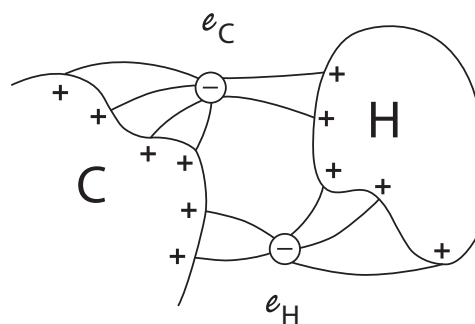


yectos concentraron en los denominados rayos catódicos; los análisis de los datos obtenidos hablaron en favor de que estaban constituidos por unidades; unidades estas de carga negativa, que fueron deducidas del experimento de la gota de aceite de Millikan, en 1913. Es con estas conclusiones que se reconsideran los resultados electroquímicos de M. Faraday; por lo que el modelo atómico de Dalton comenzó a ser desplazado por las elaboraciones de los físicos (Uribe Beltrán y Cuéllar Fernández, 2003). Para Faraday, la idea de átomo era meramente metafísica (Schneer, 1975).

A esas unidades de masa y de carga eléctrica negativa, Stoney (1894) les dará el nombre de electrón. El electrón no se descubre como algo existente per se en la naturaleza; es una conclusión necesaria de unos resultados experimentales, leídos desde un modelo simbólico. Unas suposiciones análogas tendrán conclusiones semejantes con los denominados rayos canales, sobre los cuales se postulará la existencia de unidades eléctricas de carga positiva. Con base en los análisis e interpretaciones de los resultados de los tubos de descarga, Thomson (1904) propuso un modelo de átomo, el del pudín con pasas, que su equipo de trabajo buscó contrastar empíricamente con el experimento de la dispersión de partículas alfa, realizado por Geiger y Marsden (1909; 1913). Los resultados demostraron que este modelo era inconsistente. El análisis matemático que hizo Rutherford (1911) de esta dispersión le permitió proponer el modelo nuclear, el cual a su vez fue sustituido por el semicuántico de Bohr (1913).

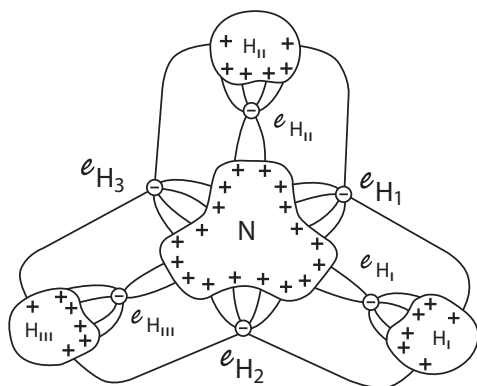
Como consecuencia de los desarrollos anteriores, desde 1907 comienza a hacer

carrera la idea de que la “compartición de electrones” por dos átomos es la que produce la unión entre ellos. Sir William Ramsay, quien identificó varios de los gases nobles, apoyó esta idea en 1908, y afirmó que los electrones sirven como “lazo de unión” entre átomo y átomo (Ihde, 1984). Siguiendo esta afirmación, por la misma época Johannes Stark, en su libro *Die Elektrizität im chemischen Atom*, consideró que los electrones de valencia atraían simultáneamente las partes positivas de dos átomos diferentes y elaboró una representación gráfica para ilustrar su punto de vista:



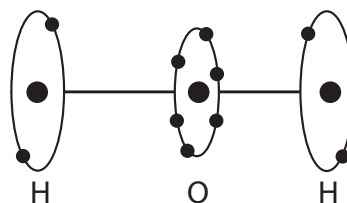
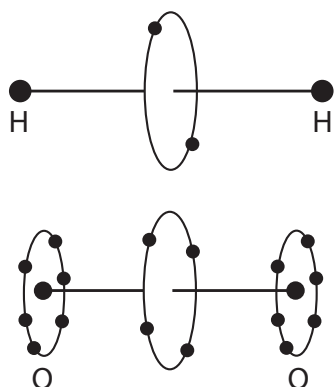
**Figura 1.** Modelo gráfico de Stark del enlace Carbono-Hidrógeno.

Para Stark, los electrones situados entre dos átomos constituyen el enlace químico. En consecuencia, propuso estructuras para varias moléculas. Así, en su representación del enlace H-C, tanto el electrón correspondiente al carbono como al del hidrógeno, enviaban líneas de fuerza a ambos núcleos, que servían de agentes enlazantes. En cuanto al amoníaco, supuso al nitrógeno con tres electrones de valencia y al hidrógeno con uno, como se muestra a continuación:



**Figura 2.** Modelo icónico de Stark para la molécula del amoníaco.

El modelo de Stark tuvo poca trascendencia. No así el de Bohr (1913). El científico danés propuso una representación icónica para la estructura electrónica de sistemas moleculares, con el fin de dar a conocer aquello que había concluido sobre los fenómenos electrónicos implicados cuando se formaba un enlace químico. Hizo dibujos tentativos de lo que pensaba sobre las estructuras del  $H_2$ ,  $O_2$ ,  $H_2O$ ,  $CH_4$  y  $C_2H_2$ , aun cuando solo discutió en detalle la del hidrógeno, que se supuso constituida por dos núcleos positivos unidos por un anillo de dos electrones, así:



**Figura 3.** Modelos gráficos de Bohr (1913) para el hidrógeno, el oxígeno y el agua.

En su propuesta, supuso que el enlace químico era representable por un anillo de electrones que se movía en un plano perpendicular al eje internuclear. Para el hidrógeno, Bohr demostró su gran estabilidad y calculó su calor de formación en 264 KJ/mol. Según este modelo (semicuántico), los electrones giran alrededor del núcleo, ubicándose en órbitas sucesivas que solo pueden tener un número limitado de electrones para formar enlaces; número dado por la expresión  $2n^2$ , siendo  $n$  el número de la órbita. En el caso del litio con tres electrones, dos de ellos podrán ocupar la primera órbita ( $n=1$ ), pero el tercero deberá ubicarse en la segunda órbita de mayor energía. Entonces, este último electrón, al ser mucho menos atraído por el núcleo, puede ser removido para dar el ión  $Li^+$ . Inversamente, un átomo de flúor, que tiene nueve electrones, podrá captar un décimo electrón a fin de completar su segunda órbita. Se tendrá entonces el ión F. En consecuencia, estos dos iones podrán formar un enlace electrovalente (o iónico) y producir el fluoruro de litio  $Li^+F^-$ .

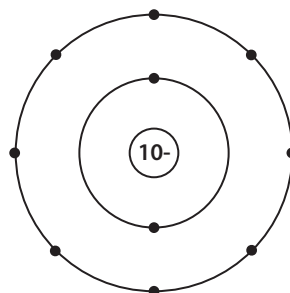
Hay que precisar que el primer modelo electrónico de valencia fue propuesto por Abegg (1904), en el que sugirió que la estructura electrónica de los recientemente identificados gases nobles era la

que les confería su estabilidad química y que para muchos de los otros elementos la suma de sus valencias positivas y negativas tenía que ser necesariamente ocho (Leidler, 1995). Destacó que la valencia positiva para cada elemento se correspondía con la posición de este en la tabla periódica.

En 1916 se publican dos importantes artículos sobre el modelo electrónico de valencia. El primero, de la autoría de Kossel (1916) y el segundo, de Lewis (Leidler, 1995). Kossel sugirió que cada elemento sucesivo contiene un electrón y una partícula positiva más que su predecesor. Concluyó que el cambio periódico en la valencia es una prueba de que al pasar de un elemento de menor peso atómico a otro de mayor peso atómico, la configuración electrónica cambia uniformemente. Por tanto, cada cierto recorrido por período se alcanzan configuraciones, para las cuales el número de electrones de valencia se repite; configuraciones que habría que asociar con los elementos químicamente inertes, corroborándose la ley de periodicidad de Mendeléiev (Bensaude-Vincent, 1991).

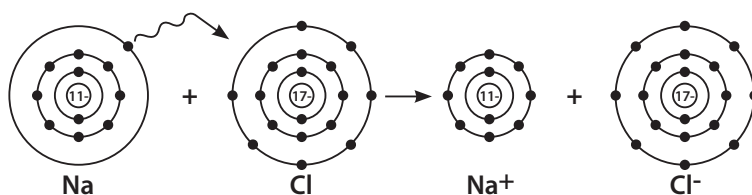
El concepto de valencia se constituyó como esencial para dar cuenta del comportamiento de los electrones externos de un átomo. Al igual que Bohr, Kossel concibe los electrones localizados en anillos concéntricos, a los electrones de un átomo rotando en órbitas alrededor del núcleo. A diferencia de Bohr, pensó

que tanto el neón como el argón tenían ocho electrones en la órbita más externa, como lo representó en la siguiente figura, aplicable solo a los primeros 23 elementos.



**Figura 4.** Modelo gráfico de Kossel (1916) para el neón.

Para Kossel, dada la relativa estabilidad química de los gases nobles, y que estos estaban precedidos en la tabla periódica por los halógenos (con un electrón menos) y seguidos por los metales alcalinos (con uno más), la transferencia de un electrón del metal alcalino al halógeno conducía a ambos a adquirir el mismo número de electrones que el gas noble correspondiente, lo cual era una razón para explicar la estabilidad de estos compuestos. Con ello, el halógeno adquiriría una carga negativa neta y el metal, una positiva. La atracción electrostática entre ambos iones sería responsable de la formación del enlace químico.



**Figura 5.** Modelo gráfico para la formación del cloruro de sodio, según Kossel (1916).

Hay que destacar que este científico fue quien introdujo el concepto de transferencia de electrones de un átomo a otro, la cual forma iones con estructura de gas noble; idea que después Langmuir denominaría “electrovalencia” (Ihde, 1984). Para moléculas formadas por átomos iguales, Kossel (1916) no sugirió la transferencia de electrones, dado que para él ambos átomos presentaban la misma afinidad. Desde esta consideración acepta las ideas de Bohr, y postula también la presencia de anillos perpendiculares al eje del enlace. Para  $H_2$ ,  $O_2$  y  $N_2$  sugiere anillos con dos, cuatro y seis electrones, respectivamente.

Por su parte, Lewis (1916) propuso otro modelo, en el que los átomos adquirirían, al combinarse, la estructura electrónica estable de los gases nobles. En lugar de la transferencia de electrones que había propuesto Kossel, Lewis afirmó que esa estabilidad se debía al compartimiento de un par de electrones; afirmación que constituyó uno de sus aportes al desarrollo de las ciencias. En su modelo, los electrones eran estáticos y arreglados en capas. La primera contenía dos electrones, mientras que las otras capas tenderían a contener ocho, a excepción de la última (capa de valencia), que contendría entre uno y ocho electrones (Bachelard, 1976); idea sobre los electrones estáticos que los físicos no admitieron (Leidler, 1995). Los primeros bosquejos acerca de su modelo fueron presentados por Lewis a sus estudiantes en 1902, cuando era instructor en la Universidad de Harvard (Leidler, 1995), por lo que puede deducirse que tuvo su origen en una intencionalidad didáctica.

El modelo electrónico de Lewis para la valencia, además de basarse en la poca reactividad de los gases nobles, tuvo como antecedente la Ley de Abegg, (1904) de valencia y contravalencia. En esa ley indicó que la diferencia entre el número de valencias positivas y negativas o “números polares” de un elemento era, frecuentemente, de ocho y nunca más de ocho. Así, si un átomo puede ceder  $n$  electrones, entonces debe poder aceptar  $8-n$  electrones, lo que es consistente con el hecho de que en su capa de valencia pueda albergar hasta ocho electrones. Lewis (1916) representó, entonces, los electrones como ubicados en los vértices de un cubo, por lo que llamó a su idea: teoría cúbica del átomo; representación de la que los físicos, de nuevo, se burlaron, pero que para los químicos sigue siendo necesaria, dentro de sus propósitos de construcción de nuevos materiales (Leidler, 1995).

El problema siguiente, para Lewis, fue el de cómo representar con su modelo icónico los distintos elementos químicos y la variedad de compuestos. Lo resolvió mediante los siguientes postulados:

1. En cada átomo existe una parte esencial que permanece inalterada en todos los cambios químicos, llamada *kernel* (en alemán, *almendra*). En adelante se usará el término *core* en el mismo sentido). En esta porción del átomo se encuentran el núcleo y los electrones más internos (electrones de core), los cuales no alcanzan a neutralizar la carga del núcleo. Por ello, el core tiene una carga neta positiva, que corresponde al número de la familia a la cual pertenece el elemento en la tabla periódica.

- Adicionalmente al core, el átomo posee una capa externa que en el caso de un átomo neutro contiene la cantidad de electrones que determinan el comportamiento químico del átomo y se denominan electrones de valencia; electrones necesarios para neutralizar la carga positiva del core. Sin embargo, durante un cambio químico, los electrones, en esta capa, pueden variar entre cero y ocho.
- En una combinación química, el átomo tiende a poseer un número par de electrones en la capa externa (de valencia) y específicamente ocho, los cuales se disponen simétricamente en los vértices de un cubo.
- Las capas de valencia de diferentes átomos son mutuamente interpenetrables.
- Los electrones pueden moverse con cierta facilidad de una posición a otra en la capa de valencia. No obstante, existen ciertas restricciones para este movimiento, que son determinadas por la naturaleza del átomo mismo, así como por la de aquellos otros combinados con este.
- Las fuerzas eléctricas entre las partículas que están muy cerca (como en el átomo) no obedecen a la ley de Coulomb.

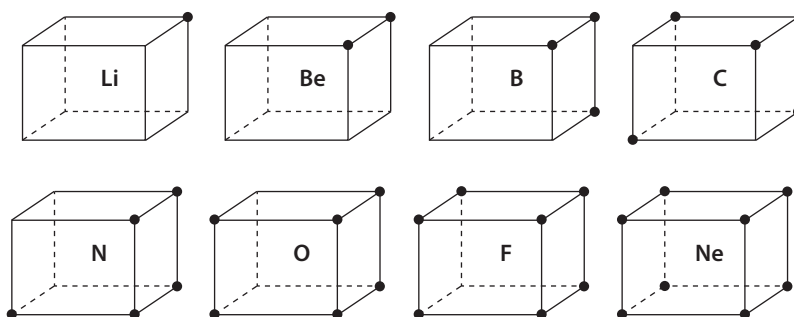
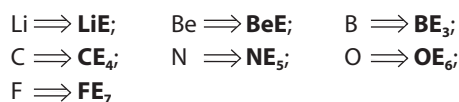


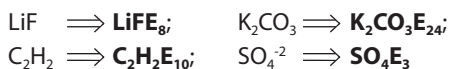
Figura 6. Modelo gráfico para los electrones de valencia, según G. N. Lewis (1923).

En su simbología, Lewis (1916) diferenciaba un elemento de su core positivo. Por ejemplo, **Li** representaba al core de un átomo de litio, o sea, el equivalente al ión  $\text{Li}^+$ . Por ello, en la siguiente figura se representan los cores con **negrillas**. Como los átomos estaban constituidos por el core y los electrones de valencia (E), los átomos se representan de la siguiente manera:



La representación  $\mathbf{NE}_8$  correspondería al ión  $\text{N}^{3-}$ . Lewis también empleó su simbología para representar compuestos. Colocó en sus fórmulas los cores de los átomos involucrados seguidos del número total de electrones de valencia.

Por ejemplo:



Según el modelo icónico cúbico del átomo, algunas de las estructuras químicas que propuso fueron:

1. En la estructura del agua, únicamente el oxígeno ocuparía un cubo, ya que el hidrógeno puede tener, como máximo, dos electrones en su capa de valencia. Así:

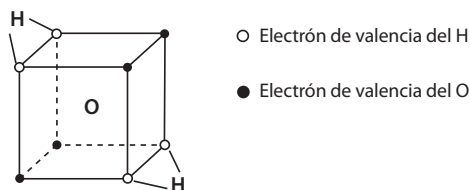


Figura 7. Modelo icónico de Lewis (1916), para la estructura del agua.

2. Para el O<sub>2</sub> se formaría un doble enlace, compartido por cada átomo de oxígeno:

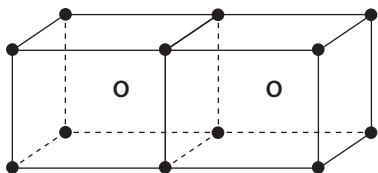


Figura 8. Modelo gráfico de (Lewis, 1916), para la molécula de oxígeno

3. En el tetracloruro de carbono, al compartirse un electrón de cada cloro con

uno del carbono, ambos alcanzan una estructura de gas noble. Sin embargo, esta representación no satisface la naturaleza tetraédrica del carbono, ya postulado por A. Kekulé.

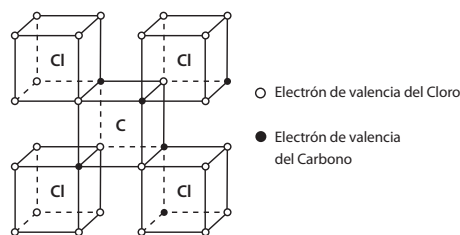


Figura 9. Modelo gráfico para el tetracloruro de carbono.

Por tal motivo, Lewis hace un arreglo diferente del grupo de los ocho electrones para el átomo de carbono, al cual se unen, quizás por fuerzas magnéticas, cuatro átomos o grupos de átomos.

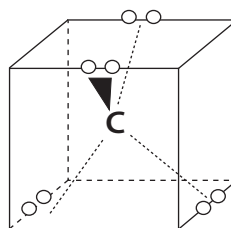


Figura 10. Modelo gráfico para el átomo de carbono (Lewis, 1916).

Finalmente, propone los conocidos diagramas o estructuras de puntos, en las que dos electrones ubicados entre dos átomos corresponden a un enlace sencillo. Asimismo, si el par electrónico está más cerca de un átomo que de otro, indica que la molécula es polar, en el que las líneas que se unen a los átomos están sobre ellos e implica la presencia de un par de electrones.



**Figura 11.** Modelo icónico para el ácido clorhídrico (Lewis, 1916).

Langmuir (1919) generalizó y extendió el trabajo de Kossel y de Lewis. A partir de los modelos de estos científicos, Langmuir formula cuatro postulados para predecir la reactividad química, la estructura y las propiedades de los compuestos. Compartir un par de electrones (o más) entre dos átomos, lo denominó enlace covalente. Su propio modelo predice la formación de otro tipo de unión, producto de la atracción electrostática entre las cargas, al que llamó enlace electrovalente. Para los electrones externos, o de valencia, de un átomo en un compuesto químico, sus cuatro postulados fueron:

1. Los arreglos estables y simétricos de electrones corresponden a los gases inertes y están caracterizados por fuertes campos de fuerza interna (atracción) y débiles campos de fuerza externa (repulsión). A menor número atómico, más débil es el campo externo.
2. El arreglo más estable de electrones es el par en el átomo de helio.
3. La siguiente configuración más estable de electrones es la del octeto, el cual corresponde a un grupo de ocho electrones, como el que se encuentra en la segunda capa del átomo de neón. Cualquier otro átomo con número atómico menor de 20 y que tenga más de tres electrones en la capa externa, tenderá a ganar el número adecuado de electrones suficiente para adquirir su octeto.

4. Dos octetos pueden tener uno, dos y, en ocasiones, tres pares de electrones en común. Un octeto puede compartir uno, dos, tres o cuatro pares de electrones con uno, dos, tres o cuatro octetos.

Desde estas consideraciones, Langmuir elabora su modelo del octeto de valencia. Los átomos en un compuesto tenderán a arreglarse de tal forma que todos ellos adquieran una configuración estable, la que para átomos con  $Z > 5$  corresponde al octeto. Así, con el número total de electrones de valencia de tantos octetos como sean posibles, para un sistema con dos átomos (A y B), la configuración estable es factible de tres formas, según el cuarto postulado:

- a) Es necesario que el número total de electrones de valencia sea 14 (dos electrones menos que los dos octetos aislados); b) 15 (cuatro menos que en dos octetos), y c) o 10. Si  $e$  es el número total de electrones de valencia, entonces el número de electrones compartidos entre los dos octetos será de  $8(2)-e$ , y el número,  $p$ , de enlaces covalentes entre A y B será de  $p=1/2[8(2)-e]$ . La ecuación anterior puede generalizarse para un número "n" arbitrario de octetos, en términos de  $p=1/2[8n-e]$ .

Según Langmuir, esta última ecuación suministra información sobre cómo pueden arreglarse los octetos en una molécula. Por ejemplo:

1. Para el  $\text{Cl}_2\text{O}$ :  $n=3$  (números de octetos) y  $p=20$  (siete electrones de valencia de cada cloro y seis para el oxígeno); aplicando la fórmula anterior,  $p=1/2[8(3)-20]=2$ ; es decir, se formarían

dos enlaces sencillos y una estructura acorde con ello sería:

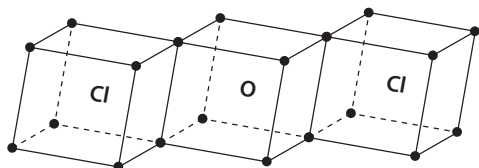


Figura 12

- Para el  $\text{CO}_2$ ,  $n=3$ ,  $e=16$  y  $p=\frac{1}{2}[8(3)-16]=4$ ; por tanto, puede proponerse entonces la existencia de dos dobles enlaces  $\text{C}=\text{O}$ . Empleando estructuras cúbicas, se obtiene:

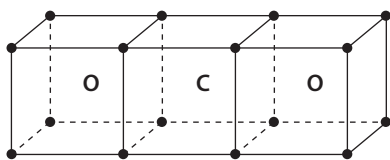


Figura 13.

Langmuir propone, también, una representación gráfica en la que los pares compartidos se encuentran más cerca entre sí:

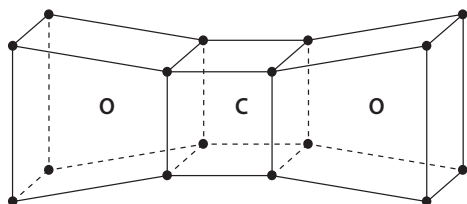


Figura 14.

El modelo de representación del enlace químico, acudiendo a la figura

geométrica de cubos, por parte de Lewis (Ihde, 1984), con la concreción en el octeto de Langmuir, han sido y siguen siendo ampliamente utilizados para proponer las descripciones electrónicas y las estructuras de las moléculas. Todo porque el éxito de las mismas ha estribado en que, con ellas, los químicos han tenido la posibilidad de unir en un modelo icónico, mediante lazos inferenciales (Hanson, 1971), las evidencias experimentales de tipo químico, que de otra manera hubieran permanecido como hechos aislados.

Es preciso agregar que Bury, en 1921, propuso un esquema en el que, según las evidencias químicas, los electrones se distribuyen en capas sucesivas de 2, 8, 18 y 32 electrones. Este esquema fue reproducido por Sidwick, en 1927, en su libro *The electronic theory of valency*. Para este año y desde la mecánica ondulatoria, Heitler y London elaboraron el modelo del enlace de valencia, que fue desarrollada para moléculas más complejas que la del hidrogeno, por Pauling (1939). En 1929, Lennard-Jones, formuló el modelo del orbital molecular como una combinación lineal de los orbitales atómicos, conocido por sus siglas en inglés, como LCAO.

## Resultados

De conformidad con las intencionalidades propuestas y en el campo restringido de la reconstrucción histórica del modelo icónico del octeto para el enlace químico, es posible afirmar que:

- La reconstrucción histórica adelantada, con base en el análisis crítico de la bibliografía de los originales disponibles, constituye un aceptable recurso didáctico para que los profe-



- sores en formación se aproximen al problema didáctico de la modelación o modelado.
- Esa aproximación no es del todo satisfactoria, en razón de que para los profesores en formación avanzada con los que se adelanto el proceso, la historia de las ciencias sigue siendo una ocupación paralela a la de trabajar en el aula cada modelo científico.
  - Predomina una versión lineal de la historia, de carácter empiropositivista, que se resiste a cambiar por una de carácter complejo.
  - Es necesario que los investigadores en didáctica de las ciencias continúen allegando resultados confiables, para fundamentar conceptual y metodológicamente la didáctica de la modelación. ▀

## Referencias

- Abegg, R. (1904). Die Valenz und das periodische Systeme. *Zeitschrift für anorganische Chemie*, 39, 330-380.
- Bachelard, G. (1976). *El materialismo racional*. Buenos Aires: Paidós.
- Bensaude-Vincent, B. (1991b). Mendeléiev: historia de un descubrimiento. En: *Historia de las ciencias*, M. Serres (ed.), pp. 503-5025. Madrid: Cátedra.
- Bohr, N. (1913). On the constitution of atoms and molecules. *Philosophical Magazine*, Series 6, vol. 26, 1-25.
- Bury, C. R. (1921). *Langmuir's theory of the arrangement of electrons in atoms and molecule*. *Journal American Chemical Society*, 43, 1602-1609.
- Galagovsky, y 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.
- Gallego Badillo, R., Pérez Miranda, R., Uribe Beltrán, M. V., Cuéllar Fernández, L. y Amador Rodríguez, Y. (2004). El concepto de valencia: su construcción histórica y epistemológica y la importancia de su inclusión en la enseñanza. *Ciência & Educação*, 10(3), 571-584.
- Gallego Badillo, R., Pérez Miranda, R. y Torres de Gallego, L. N. (1995). La química como ciencia: una perspectiva constructivista. *Química. Actualidad y Futuro*, 5(1), 55-63.
- Gieré, R. N. (1990). *Explaining Science*. Chicago: University of Chicago Press.
- Greca, I. M. y Dos Santos, F. M. T. (2005). Dificuldades da generalização das estratégias de modelação em ciências: O caso da física e da química. *Investigações em Ensino de Ciências*. En línea: [http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol10/n1/v10\\_n1\\_a2.htm](http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol10/n1/v10_n1_a2.htm)
- Hanson, N. R. (1971). *Patrones de descubrimiento, observación y explicación*. Madrid: Alianza.
- Heitler, W. and London F. (1927). Wechselwirkung neutrale Atome und homopolare Bindung nach der Quantenmechanik. *Zeitschrift für Physik*, 44, 455-472.

- Hoffmann, R. (1997). *Lo mismo y no lo mismo*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Ihde, A. J. (1984). *The development of modern chemistry*. New York: Dover.
- Islas, S. M. y Pesa, M. A. (2003). ¿Qué rol asignan los profesores de física de nivel medio a los modelos científicos y a las actividades de modelado? *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, 57-66.
- Islas, S. M. y Pesa, M. A. (2004). Concepciones de los profesores sobre el rol de los modelos científicos en clases de física. *Revista de Enseñanza de la Física*, 17(1), 43-50.
- Justi, R. S. (2002). Modelling Teachers' views on the Nature of modeling and implications for the education of modelers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387.
- Kossel, W. (1916). Molecule formation as a question of atomic structure. *Annalen der Physik*, 49, 229-362.
- Lennard-Jones, J. E. (1929). The electronic structures of some diatomic molecules. *Transaction Faraday Society*, 25, 668-686.
- Leidler, K. J. (1995). *The world of physical chemistry*. Oxford: Oxford University Press.
- Langmuir, I. (1919). The structure of atoms and the octet theory of valence. *Proceedings of the National Academy of Science*, vol. V, 252.
- Lewis, G. N. (1916). The atom and the molecule. *Journal of the American Chemical Society*, vol. 38, 762 - 786.
- Lewis, G. N. (1923). *Valence and the structure of atoms and molecules*. New York: Chemical Catalog Co.
- Lockemann, G. (1960). *Historia de la química*. México: UTEHA.
- Lombardi, O. (1998). La noción de modelo en ciencias. *Educación en ciencias*, II(4), 5-13.
- Matthews, M. (1994). *Science teaching: The role of history and philosophy of science*. New York: Routledge.
- Mosterin, J. 1978. La estructura de los conceptos científicos. *Investigación y Ciencia*, 16, 82-93
- Oliva, J. M., Aragón, M. M., Bonat, M, y Mateo, J. (2003). Un estudio sobre el papel de las analogías en la construcción del modelo cinético-molecular de la materia. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(3), 429-444.
- Rutherford, E. (1911). The scattering of  $\alpha$  and  $\beta$  particles by matter and the structure of the atom. *Philosophical Magazine*, Series 6, vol. 21, 669-688.
- Scheler, M. (1936). *Erkenntnis und Arbeit*. Leipzig: Der neue Geist.
- Schneer, C. J. (1975). *Mente y materia*. Barcelona: Bruguera.
- Stoney, G. J. (894). Of the "Electron" or atom of electricity. *Philosophical Magazine*, Series 5, vol. 38, 418-420.
- Thomson, J. J. (1904). On the structure of the atom. *Philosophical Magazine*, Series 6, vol. 11, 769-781.
- Tomasi, J. (1999). Towards chemical congruence of the model in theoretical chemistry. *International Journal for Philosophy of Chemistry*, 5(2), 79-115. En línea <http://.hyle.org/journal/issues/5-2/tomasi.html>
- Uribe Beltrán, M. V. y Cuéllar Fernández, L. (2003). Estudio histórico-epistemológico del modelo atómico de Rutherford. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 14, 88-98.

# Una revisión histórica del concepto de calor: algunas implicaciones para su aprendizaje

Francisco Javier Camelo Bustos\*  
Sindy Julieth Rodríguez Sotelo\*\*

Artículo recibido: 13-4-2007 y aprobado: 30-4-2008

## A historical revision of the heat concept: some implications for its learning

■ **Resumen:** La historia en diversos ámbitos de nuestra cultura, desde el arte, la religión y la política, hasta la técnica y la ciencia, se considerada de vital importancia. En este artículo se intenta aclarar qué aportes puede brindar la historia de la física a la enseñanza y aprendizaje de la misma. Para facilitar este análisis, se expondrá, a manera de ejemplo, la evolución histórica del concepto de calor, haciendo énfasis en cómo utilizar tanto los aciertos como las dificultades que enfrentaron –y enfrentan– los físicos en la elaboración de la idea del calor para dinamizar la enseñanza y aprendizaje de este concepto en contextos escolares.

**Palabras clave:** Calor, historia de la física, historia del calor, aprendizaje de la física.

■ **Abstract:** History is considered of vital importance in different contexts of our culture such as art, religion, politics, technique and science. This article presents the contributions that physics history offers to its teaching and learning processes. To make this analysis easier, it will be taken the historical evolution of the concept of "heat" as an example, emphasizing the proper use of the strengths and drawbacks found by the physicians when facing the task of elaborating the idea of "heat", in order to give dynamics to the teaching and learning of this concept in educational contexts.

**Key words:** Heat, physics history, heat's history, physics learning.

\* Profesor de la Secretaría de Educación del Distrito Capital y catedrático de la Universidad Pedagógica Nacional, Colombia. fcamelo1@yahoo.com

\*\* Estudiante, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Sindyjuliethr@yahoo.es

## Introducción

Este documento hace parte de un estudio más amplio, que pretende realizar una mirada histórico epistemológica del calor para diseñar situaciones de aula que posibiliten aprendizajes más significativos en estudiantes de secundaria. Aquí se da cuenta únicamente del desarrollo histórico-epistemológico, dejando para futuras disertaciones el diseño y la aplicación de las situaciones que de tal mirada se deriven. Por tal razón en el primer aparte se presentan consideraciones sobre la importancia de la historia de las ciencias en la enseñanza de las mismas, lo cual genera un contexto para mostrar. En el segundo aparte, la evolución del concepto de calor a través de los tiempos, lo cual posibilita, en las conclusiones, plantear aspectos relevantes a considerar en el diseño de situaciones de aula.

## La historia de la física, una consideración imprescindible en la enseñanza de la misma

Conocer ampliamente la historia de la física posibilita una comprensión más profunda de los conceptos y de los métodos usados, al develar sus orígenes, su evolución y su estado actual; al mismo tiempo, ofrece una visión cultural de los mismos, ya que pone de relieve el rostro y las vidas de quienes fueron sus constructores. Bajo esta mirada, la física aparece como una ciencia viva, ligada a circunstancias históricas y culturales, que no puede prescindir de los problemas de la humanidad. El análisis de la evolución histórica proporciona, además, principios de base sobre cómo ha de enseñarse y aprenderse esta ciencia (Anaconda, 2003 y Cubillos, 2002), los cuales habrá de complementarse desde

diferentes disciplinas, como la psicología del aprendizaje, la reflexión sobre la enseñanza, etc. (Del Río, 1997).

Cabe entonces preguntarse, ¿qué aportes puede brindar la historia de la física a la enseñanza de la misma? y ¿cómo puede usarse tal historia para mejorar los ambientes que se dan en el aula de clase?

Para abordar estas preguntas, en primer lugar, se hace necesario aceptar que la historia ha mostrado que las llamadas ciencias exactas, en particular la física, no son solo una construcción lógica y racional, como ha sido popularmente pensada en los últimos tiempos, sino que ella es una construcción sociocultural, producto del trabajo de cientos de mujeres y hombres en contextos históricos determinados (Cubillos, 2002). Esta idea rompe con viejas concepciones que dan a la física tan solo un carácter formal y abstracto que incluso le otorga la incapacidad para cometer errores, implicando que la enseñanza de las mismas se dé de manera rígida y poco atractiva para los estudiantes, pues desconoce diversos aspectos de su construcción.

Por su parte, aceptar una concepción de la física como construcción sociocultural permitirá propender “[...] por una enseñanza dinámica en la que se replantean constantemente tanto los contenidos, como las maneras de comunicarlos [...]” (Anaconda, 2003: 36), lo que a su vez cambia la interacción que se da entre estudiantes y profesor en el salón de clases, posibilitando que el conocimiento se estudie como un objeto en constante construcción, el cual es falible y cuestionable. Álvarez (2005: 2) ilustra claramente este hecho al mencionar que la utilización de la historia posibilita

[...] cuestionar una enseñanza organizada, casi en exclusiva, alrededor de la presentación de resultados, de conceptos ya construidos. [Pues] debe trabajar sobre el origen de los saberes, ya que estos responden a problemas y preguntas planteadas que se han ido interpretando de manera diferente durante un largo proceso. La ciencia no ha surgido ex nihilo. Ha de abrir una reflexión sobre las disciplinas y los instrumentos intelectuales elaborados para explicar la realidad, como leyes, teorías, modelos o conceptos, mostrando que estos no se han construido de forma acumulativa, sino que son producto de reorganizaciones sucesivas.

Sin embargo, las ideas anteriores son tan solo una mirada de lo que podría implicar una visión sociocultural de la construcción de los fenómenos físicos, pues existen dos posibles escenarios donde aplicar tal reflexión histórica: i) en la formación de profesores y, ii) en el aprendizaje de la física (Anaconda, 2003). En cuanto al aprendizaje de la física<sup>1</sup>, puede mencionarse que sirve para:

- a) Aportar situaciones y problemas interesantes para un tratamiento lúdico, que permita ganar el interés de manera informal sobre un contenido específico. Es decir, aportar problemas que generen en los estudiantes cierta tensión epistémica, un cierto deseo por el saber que ponga en marcha el aprendizaje. Es claro que los problemas llevados al aula no podrán ser literalmente los que originaron el

concepto o procedimiento, es necesario reformularlos o buscar otros cercanos a lo habitual, a lo ya conocido, pero de cualquier modo problemas desafiantes y novedosos.

- b) Servir de puente entre la cultura y la física, pues permite a los individuos comprender de un modo más claro manifestaciones del entorno en el que se encuentran.

A continuación se muestra una reflexión en torno a la evolución histórica del calor, haciendo énfasis en aquellos aspectos relevantes que posibilitarían el diseño de situaciones interesantes, novedosas y con sentido para los estudiantes, ejemplificando, de algún modo, el uso de la historia de la física en el aprendizaje de la misma.

#### **Una reflexión histórica acerca del concepto de calor**

El análisis del concepto de calor permite identificar diversas clasificaciones de su evolución; aquí se consideran cinco momentos históricos relevantes a saber: i) los cuatro elementos, ii) el alcahesta, iii) el flogista, iv) el calórico, y v) la energía.

#### **Los cuatro elementos**

Este momento comienza por la manifestación más elemental de este fenómeno, el fuego, por el cual el hombre mostró interés desde épocas remotas. Quizá la primera referencia formal para dar cuenta de la importancia del fuego se encuentra en las ideas de Heráclito (540 a.C.-475 a.C.), quien sostenía que el fuego era el origen primordial de la materia y que el mundo entero se encontraba en un estado constante de cambio, postulando al fuego como la sustancia primordial o

1 En este artículo solo se desarrolla el segundo escenario, por considerar una tesis con respecto al aprendizaje de la física. El lector interesado en la formación de profesores puede consultar a Quintanilla (2005) y García (2005).

principio que, a través de la condensación y rarefacción<sup>2</sup> crea los fenómenos del mundo sensible. Como él, muchos filósofos griegos basan sus ideas cosmológicas en el fuego (Taton, 1972).

Este mismo autor señala que Empédocles (493 a.C.-433 a.C.) propone que el mundo se compone de cuatro elementos fundamentales: agua, aire, fuego y tierra, y dos fuerzas opuestas: amor y odio, que actúan sobre estos elementos, combinándolos y separándolos dentro de una variedad infinita de formas. Sosteniendo que no es posible la creación de nueva materia, pues solo pueden ocurrir cambios en las combinaciones de los cuatro elementos primarios.

Estas ideas, aunque tan solo cualitativas, se mantuvieron por más de 23 siglos, siendo completadas por Aristóteles (384 a.C.-322 a.C.), quien agregó dos pares de cualidades fundamentales: caliente y frío, seco y húmedo. La unión de estas dos cualidades correspondía a los cuatro elementos; así, el fuego es cálido y seco, el aire, cálido y húmedo, la tierra, fría y seca, y el agua fría y húmeda. Por tanto, la razón por la cual un cuerpo tenía cierta temperatura la revelaba la cantidad que en él se encontraban estas dos cualidades fundamentales. Galeno (129-199) propuso una escala cualitativa que costaba de cuatro estados de calor y cuatro de frío, el punto neutro se obtenía agregando cuatro partes de agua hirviendo y cuatro partes de hielo,

la que aplicó principalmente en la medicina (Lynds).

Es de resaltar que durante este periodo ya se apreciaba que algunos de los fenómenos físicos, como la dilatación de sólidos y líquidos, y la expansión térmica del aire y el vapor, dependían del calor, pero no se prestaba atención a mirar dónde se encontraban localizadas las temperaturas porque no era parte de las cualidades referidas en la teoría aristotélica; estas ideas eran aplicadas en la fabricación de máquinas para la diversión, una de ellas es la llamada *Aeolipia* (figura 1) que, según García (1997), es construida por Hero de Alejandría (130 a.C) y es la primera máquina térmica de la cual se tiene conocimiento. Esta funciona como una turbina de vapor, que consiste en un globo hueco que se soporta sobre un pivote de madera de tal manera que pueda girar alrededor de dos brazos, uno de los cuales debe ser hueco. En uno de los brazos debe suministrarse vapor de agua, el cual a su vez escapa del globo por dos tubos doblados orientados tangencialmente y en direcciones opuestas, los que están colocados en los extremos del diámetro, perpendicular al eje de rotación del globo. Cuando el vapor es expulsado por los tubos, debido a las fuerzas que allí actúan, este empieza a girar sobre su propio eje.

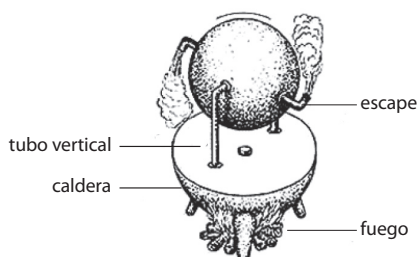


Figura 1

2 Para Anaxímenes lo caliente y lo frío son estados comunes de la materia. Consideraba que lo comprimido y condensado era frío, y que lo raro y "laxo" era caliente, por tanto, según él, la rarefacción daba cuenta del proceso mediante el cual se calentaban las cosas, hasta quedar convertidas en vapor. Actualmente este fenómeno puede equipararse con el de la evaporación.

**El alcahesta**

Las ideas de Aristóteles comienzan a ser cuestionadas a mediados del siglo XVI, cuando se propone la existencia de una quinta esencia de la materia -última esencia de la materia- (Taton, 1972), idea que luego de ser estudiada fue transformándose rápidamente en la existencia de un agente universal responsable de todas las reacciones químicas. Más tarde a este agente se le atribuyó la característica de transformar la apariencia física de los cuerpos, por ejemplo, la evaporación del agua, al cambiar de líquido a gaseoso.

Este investigador señala que, en medio de este ambiente, Van Helmont (1577-1644) al realizar observaciones acerca de la calcinación del carbón y el azufre, encuentra una contradicción entre los cuatro elementos con la experiencia, pues el fuego no es un elemento en sí, sino un actor de transformación. A su vez, dedujo que el humo es un gas, al igual que la llama del fuego, la cual nace y desaparece sin tener carácter corporal. Así, al agente universal que produce las reacciones químicas y las transformaciones físicas él lo denominó *Alcahesta*.

El experimento que utilizó para esto fue la observación del crecimiento de una planta de sauce, crecimiento que atribuyó al agua que él regó durante cinco años, concluyendo así que el agua podía transmutarse en madera y en otros cuerpos pesados como los metales (Taton, 1972).

La teoría del alcahesta -la cual consiste en buscar el agente universal generador de todas las reacciones químicas- fue refutada, bajo la argumentación de que si él podría transformar o disolver cualquier material, entonces debía

transformar o disolver el recipiente que lo contenía, siendo imposible conseguirlo, por lo que los argumentos de Van Helmont perdieron fuerza y la mayoría de sus contemporáneos mostraron prudencia y reserva respecto de él.

Así mismo, Taton (1972) menciona que Robert Boyle (1627-1691), como Van Helmont, contemporáneo de Boyle, negó al fuego todo carácter corpóreo y rechazó la concepción de que los otros tres elementos constituyeran la materia. También consideraba que debía existir cierta unidad de la materia, lo que implicaba que ella debería estar compuesta por corpúsculos. De esta forma en el pensamiento de este físico, el concepto de elemento, que él entendió como término último de la descomposición química, no tenía en cuenta el agente universal al cual asociarle una transformación física o química, sino que las variaciones de las partículas y sus movimientos podrían dar cuenta de los diferentes aspectos de los elementos.

Muchos de los escritos de Boyle fueron leídos y discutidos, y aunque las ideas que aportó y criticó de los antiguos sistemas tomaron auge en sus contemporáneos, no se logró reducir la tendencia de los químicos de la época a promover un agente universal reconocido por todos.

Mientras se desarrollaron discusiones en el siglo XVII y los primeros años del XVIII sobre la estructura de la materia, un acontecimiento importante, la teoría del flogisto, introdujo en la doctrina química la tan anhelada unidad.

**El flogisto**

Según Efront (1971), la idea de que el agente universal no podía ser sino el principio del fuego fue enunciada por



Joachim Becher (1635-1682) para ello propuso dos componentes de la materia, agua y tierra, distinguiendo tres tipos de la última: tierra vitrificable, tierra mate-ria y tierra inflamable; Stalh dio a esta úl-tima el nombre de *flogisto*. Este no debe ser confundido con el fuego material, el que se manifiesta en la llama y en el calor cuando se producen combustiones. Él es un elemento inaccesible que poseen todos los cuerpos combustibles.

Al momento de una combustión el flogisto se desprende de los cuerpos, y esa pérdida de flogisto es la que explica el cambio de los cuerpos quemados. Por ejemplo, los aceites al ser quemados dan como resultado agua y aceites privados de flogisto.

Uno de los aspectos más interesantes de esta teoría, según Taton (1972), se re-fiere a la transformación de los metales en cales y la transformación de los cales en metales, proceso que en la actualidad se denomina reducción. Los metales que contenían más flogisto eran más fácilmente transformables, mientras que los que contenían poco flogisto podían considerarse poco transformables, de modo que el metal era considerado un compuesto de cal y flogisto. Stalh (1660-1734) observó que cuando se calcinaba el metal, exponiéndolo al aire libre, este perdía su flogisto. La explicación a este fenómeno era que el aire ponía en movimiento las partículas del flogisto y cuando el movimiento era tal que las partículas adquirían velocidad suficien-te, se desprendía el flogisto del metal.

La transformación de metales en cal no era únicamente obtenida por exposición al aire libre, también podía obtenerse, si se disolvía tal metal en espíritu de nitro (ácido nítrico) y se

calcinaba la sal, quedando únicamente la cal del metal. Cuando esto ocurría, la explicación que se daba era que el me-tal contenía cierta cantidad de flogisto, y cuando se ponía en contacto con un material como el ácido que no poseía flogisto, la calcinación provocaba la pérdida de flogisto de la mezcla, que se había transformado en cal.

Se observa el proceso inverso; la reducción, solo bastaba suponer que la adición de una cantidad conveniente de flogisto a la cal permitía lograr de nuevo el metal. Por ello, las sustancias ricas en flogisto que les confería su carácter com-bustible –como el carbón vegetal– eran consideradas especialmente adecuadas para producir estos procesos de obten-ción del metal.

Esta teoría tuvo inconvenientes, ya que no daba cuenta del porqué al trans-formarse el metal en cal se producía un aumento de peso en la sustancia, mientras que al transformarse la cal en metal se observaba una disminución de peso. Era toda una contradicción, puesto que el metal estaba compuesto de cal y flogisto.

Stalh, al tratar de explicar este fenó-meno concluyó, inicialmente, que la di-ferencia de peso se debía a que el metal al perder flogisto durante la calcinación quedaba finalmente con la parte más pesada de la sustancia que lo componía. Más tarde atribuyó dicho hecho a que al liberarse la parte inflamable –flogisto–, este dejaba vacíos en la materia, los cua-les iban a ser comprimidos por el aire, lo que generaba, a su vez, que la sustancia aumentara su peso.

A pesar de las críticas que se desarro-llaron en torno a esta teoría, el problema que se planteaba no era rechazarla por



el hecho de no explicar claramente el aumento de peso de los metales calcinados, sino cómo hacer entrar el fenómeno en el ámbito de la teoría. Esta actitud era producto de que a la teoría del flogisto no había otra suficientemente estructurada que se le opusiera; este hecho provocó que hasta finales del siglo XVII los químicos acogieran la teoría del flogisto porque respondía a sus expectativas.

Es necesario resaltar aquí, como lo mencionan Rius de Repien y Castro (1995), que en el transcurso del siglo XVII se oponían dos teorías sobre el calor, la del flogisto, y la que razonaban los seguidores de los atomistas griegos, quienes admitían la corporeidad del fuego, considerando que este se constituía por partículas pequeñas, ligeras y sutiles, que tenían a su vez una enorme movilidad para penetrar en la materia en sus diferentes estados, capaces de operar simplemente con su presencia. Las propiedades atribuidas a esta materia del fuego eran, en primer lugar, que se encontraba formada por átomos sutiles que tienen peso y, en segundo lugar, materia que se convertía en un fluido indestructible e inmaterial, el calórico.

#### *El calórico*

Lavoisier y sus discípulos fueron los defensores de la teoría del calórico. Propusieron que no había necesidad de un agente hipotético para explicar las reacciones químicas, así el flogisto que había sido el principio del fuego, la luz, y del negro del humo, se transformó en hidrógeno mismo; por tanto, para explicar el fenómeno del aumento del peso de la sustancia cuando se calcinaba, comenzó a elaborar y a defender la idea de que ese aumento se debía a la fijación de una

porción del aire atmosférico por parte del metal, de modo que se liberaba la materia del fuego o calórico y se formaba la cal correspondiente (Mallove, 2005).

Entre 1775 y 1777 Lavoisier elaboró una teoría de los gases, en las que introducía el principio del calórico. En este periodo surgía el concepto de temperatura y empezaron a construirse termómetros, para medir la frialdad de las cosas. Joseph Black (1728-1799) utilizó estos termómetros para estudiar el calor, observando cómo las diferentes sustancias que se encontraban a desiguales temperaturas tendían a llegar a un equilibrio cuando se les ponía en contacto.

A partir de la idea de Black se afianzó la teoría que defendía la existencia de un fluido invisible que entraba y salía de una sustancia aumentando o disminuyendo su temperatura. La teoría del calórico se basaba en dos premisas fundamentales: i) El fluido no se crea ni se destruye, ii) La cantidad de calórico transportado hacia o desde el objeto es directamente proporcional a la masa y a la temperatura del objeto. De esta forma, al introducir más calórico en una sustancia, esta se calentaba, hasta que finalmente el calórico se desbordaba y fluía en todas direcciones. Esta era la razón por la cual la calidez de un objeto al rojo vivo se dejaba sentir a gran distancia; el calor del sol, por ejemplo, se notaba a 150 millones de kilómetros. Al poner en contacto un objeto caliente con otro frío, el calórico fluía desde el primero al segundo. Ese flujo hacía que el objeto caliente se enfriara y que el frío se calentara (Taton, 1972).

Mediante la teoría del calórico se explicaban hechos como la dilatación y

la contracción térmica. Así, calentar un cuerpo era lo mismo que darle calórico y como resultado se evidenciaba la dilatación del mismo; lo contrario ocurría al enfriar el cuerpo, pues el calórico se excluía haciendo que se contrajera. Para dar una razón por la cual una sustancia podía estar en los estados sólido, líquido y gaseoso, esta teoría se basa en la cantidad de calórico. Para una sustancia gaseosa, por ejemplo, se decía que poseía gran cantidad de calórico porque poseía un gran volumen específico, mientras que los sólidos y líquidos contenían menos calórico y por ello ocupaban menos volumen. Cuando un gas se comprimía, el calórico quedaba almacenado en un volumen más pequeño, lo que ocasionaba un crecimiento de la densidad y, por tanto, un aumento de temperatura, al expansionar el gas, la temperatura disminuía.

Esta teoría, aunque explicaba fenómenos como calor, temperatura y combustión, no fue capaz de determinar el peso del calórico al calentar o enfriar los cuerpos.

Como lo menciona Mallove (2005), durante este periodo se observó que las superficies expuestas a rozamientos se calentaban si no estaban suficientemente lubricadas. Los seguidores de la teoría de calórico argumentaron que el calor por fricción podía explicarse como una pérdida del fluido calórico, es decir, el rozamiento obligaba al calórico a salir del material. En 1798 se demostró que ésta explicación no era correcta, mediante la famosa experiencia realizada durante la fabricación de un arsenal de cañones en Baviera; como es lógico, el cañón y el taladro se calentaban y había que estar suministrando constantemente agua fría para refrigerarlos. Rumford

vio que el calórico no se desprendía, por la rotura del metal, y que quizá no procedía siquiera de este. El metal estaba inicialmente frío, por lo cual llegó a concluir que no podía contener mucho calórico y, aun así, parecía que el calórico fluía a gran cantidad. Para medir el calórico que salía del cañón, calculó cuánto se calentaba el agua utilizada para refrigerar el taladro y el cañón, y llegó a la conclusión de que si todo ese calórico se reintegraba al metal, el cañón se fundiría.

Rumford finalmente se convenció de que el calor no era un fluido, sino una forma de movimiento. A medida que el taladro rozaba contra el metal, su movimiento se convertía en rápidos y pequeñísimos movimientos de las partículas que constituían el bronce. Igual daba que el taladro cortara o no el metal; el calor provenía de esos pequeñísimos y rápidos movimientos de las partículas, y, como es natural, seguía produciéndose mientras girara el taladro. La producción de calor no tenía nada que ver con ningún calórico que pudiera haber o dejar de haber en el metal.

#### *La energía*

Rius de Repien y Castro (1995) muestran que de la idea de Rumford se concluye la posibilidad de generar por rozamiento una cantidad ilimitada de calor, lo que se explica en la teoría mecanicista, pues la energía mecánica podía llegar a transformarse en calor, hecho que no era fácilmente argumentable con la teoría del calórico. Los paradigmas de la época no permitieron que sus ideas se desarrollaran sino hasta 1820.

La teoría mecánica del calor tomó cuerpo al enunciarse la idea de que había algún tipo de interrelación entre

el calor y el trabajo. Esta idea culmina con los trabajos de Joule (1818-1889), que establecen que el calor y el trabajo no son más que manifestaciones de la energía. Se postula que si bien la energía mecánica y la energía térmica pueden transformarse una en otra, la energía en sí no podía ser creada ni destruida.

Una segunda hipótesis interesante es que la energía térmica podía solo ser convertida en un porcentaje en trabajo, pero el trabajo puede ser totalmente convertido en calor. Finalmente se comprobó que el calor no podía ser entendido como una sustancia material, sino que es una forma de energía. Es necesario tener en cuenta que el calor no es la energía que contiene un cuerpo, sino la cantidad de energía que pasa de un cuerpo caliente a otro frío o menos caliente. Las medidas del equivalente mecánico del calor señalaron el fin de la teoría del calórico. De todo esto surge la termodinámica y de ella las máquinas térmicas (Rius de Repien y Castro, 1995).

En la misma época en que se inició la termodinámica estaba desarrollándose la teoría molecular de la materia, que permite formarse una idea coherente del calor y de los fenómenos que intervienen. Algunas de sus premisas son: i) todos los cuerpos están formados por partículas pequeñísimas, las moléculas, ii) las moléculas no ocupan todo el volumen del cuerpo; entre ellas hay espacios vacíos, iii) entre moléculas se ejercen fuerzas de cohesión, y iv) las moléculas están en movimiento.

Como lo menciona Fuente (2000: 2) la teoría cinética molecular explicará entonces el fenómeno del calor como:  
[...] el calor de un cuerpo está directamente relacionado con la energía cinética o de movimiento de las

moléculas que lo componen; cuanto mayor es la energía cinética más caliente está el cuerpo; cuanto más caliente está una cosa, más rápidamente se mueven sus partículas. Como las moléculas siempre se hayan en movimiento, todo lo existente contiene algún calor. Incluso lo que parece frío encierra cierta medida de temperatura pues sus moléculas se mueven [...].

Esta es precisamente la idea que se tiene actualmente de lo que hace que un cuerpo esté más caliente que otro. La teoría cinética de los gases explicaba muchos de los fenómenos que por medio de la teoría del calórico no podían ser explicados; por ejemplo, para los seguidores de la teoría del calórico, se consideraba la transferencia de calor como un fluido que entraba y salía de los cuerpos para calentarlos o enfriarlos, mientras que para los de la teoría cinética, dicha transferencia se argumenta por el hecho de que las moléculas tienen movimiento. Así, al colocar juntos dos cuerpos con diferentes temperaturas, las moléculas en movimiento del cuerpo más caliente chocan con las del objeto frío, en el cual sus moléculas se desplazan más lentamente, provocando que las moléculas que llevan mayor velocidad la disminuyan, y las del cuerpo frío que viajaban más despacio adquieran una velocidad mayor que la inicial, por esto es que decimos que hay un flujo de calor del cuerpo más caliente al más frío.

### Conclusiones

Se evidencia que el concepto de calor se ha explicado desde dos modelos: i) el sustancialista, que le asigna entidades similares a las de un fluido, y ii) el dinámico, que lo relaciona con el

movimiento, siendo este último modelo la base fundamental de la concepción actual de calor.

Las concepciones de calor que se explican desde el modelo sustancialista –los cuatro elementos, alcahesta, flogisto y calórico– se caracterizan por considerar que existe una sustancia dentro del mismo cuerpo a la que se le atribuye que éste esté o más caliente o más frío.

La concepción que se explica desde el modelo dinámico —energía— se caracteriza por postular que el calor es:

i) el intercambio de energía del sistema con el medio o sus alrededores, y/o  
ii) las fuerzas o el movimiento de las partículas, involucrando la velocidad de reacción.

La ruptura epistemológica está dada por la naturaleza de estos dos modelos que explican el calor.

El diseño de situaciones para el aula debe involucrar, necesariamente, el uso de los dos modelos mediante los que se explica el concepto de calor, pues la ruptura epistemológica se da en el cambio de una concepción a otra. ▲

## Referencias

- Álvarez, M. (2005). Experiencias y perspectivas de la introducción de la historia de las ciencias en la enseñanza secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, (extra). Disponible en: [http://ensciencias.uab.es/web-blues/www/congres2005/material/Simposios/03\\_Modelos\\_y\\_model/Alvarez\\_776B.pdf](http://ensciencias.uab.es/web-blues/www/congres2005/material/Simposios/03_Modelos_y_model/Alvarez_776B.pdf). Fecha de consulta: 21 de octubre de 2006.
- Anaconda, M. (2003). Historia de las Matemáticas en la Educación Matemática. *Revista EMA*, 8 (1), 30-46.
- Cubillos, G. (2002). Epistemología e historia en la pedagogía de las ciencias. *Revista innovación y ciencia*, 10 (3 y 4), 21-25.
- Del Río, J. (1997) Historia de las matemáticas. Implicaciones didácticas. *Revista Suma*, 26, 33-38.
- Efront, A. (1971). *El mundo del calor*. Santander, Buenos Aires: Editorial Bell.
- Fuente, A. (2000). El calor. Disponible en: [http://html.rincondelvago.com/calor\\_13.html](http://html.rincondelvago.com/calor_13.html). Fecha de consulta 21 de octubre de 2006.
- García Martínez, A. (2005). Aportes del estudio histórico de instrumentos científicos a la formación del profesorado de ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, (extra). Disponible en [http://ensciencias.uab.es/web-blues/www/congres2005/material/Simposios/03\\_Modelos\\_y\\_model/Garcia\\_791.pdf](http://ensciencias.uab.es/web-blues/www/congres2005/material/Simposios/03_Modelos_y_model/Garcia_791.pdf). Fecha de consulta: 12 de octubre de 2006.
- García, L. (1997). *De la máquina de vapor al cero absoluto (calor y entropía)*. México: Fondo de Cultura Económica.

- Lynds, B. (2006). *About Temperature*. Traducción por Riverol C. Disponible en <http://eo.ucar.edu/skymath/acerca.html>. Fecha de consulta: 15 de octubre de 2006.
- Mallove, E. (2005). Los misterios y los mitos del calor: Una breve historia de lo caliente y lo frío. *Revista Attos IV*. Publicado en su versión original en *Infinite Energy* 37, mayo-Junio de 2001. Disponible en [www.attos.com](http://www.attos.com). Fecha de consulta: 1 de septiembre de 2006.
- Quintanilla, M. (2005) Historia de la ciencia y formación del profesorado: una necesidad irreductible. *Revista TED* (extra), 34-43.
- Rius de Repien, M. y Castro, C. (1995). *Calor y movimiento*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Taton, R. (1972). *Historia general de las ciencias*, vol. II. Barcelona: Ediciones Destino.

# ¿Enseñanza de las ciencias por disciplinas o interdisciplinariedad en la escuela?

Steiner Valencia Vargas  
Olga Méndez Núñez  
Gladys Jiménez Gómez\*

Artículo recibido: 15-5-2007 y aprobado: 30-4-2008

## ¿Science teaching by disciplines or interdisciplinarity at the school?

■ **Resumen:** El artículo presenta algunos supuestos que están a la base de la incorporación de los saberes en el currículo de la escuela y cómo ello responde a una manera de entender la relación con el conocimiento desde la que se naturaliza la fragmentación de los saberes. Describe algunos argumentos que abogan por una relación interdisciplinaria con los saberes que hace explícita la necesidad de transformar las relaciones con el conocimiento que se propician en la escuela. Además, discute algunas propuestas que constituyen una orientación de la forma en que diferentes grupos y comunidades académicas han construido una respuesta para proveer a los ciudadanos de una relación más cercana con los productos de la ciencia y la tecnología.

**Palabras clave:** Interdisciplinariedad, disciplinas científicas, enseñanza de las ciencias, curricularización de los saberes.

■ **Abstract:** This paper presents some considerations about the ways in which knowledge is included in the school curricula. The process is an answer to the need of understanding the relationships between knowledge and disciplines in the school contexts, when the first is broken down. The theory describes some arguments in favour of an interdisciplinary relation which expresses fully and clearly the necessity of changing the relationships that are implemented in the school regarding to knowledge. Some proposals of the academic community are discussed and different strategies are designed by groups of teachers in order to illustrate how it is possible to promote a meaningful relationship between the citizens and the products of science and technology.

**Key Words:** Interdisciplinary knowledge, scientific disciplines, Sciences teaching, curriculum.

\* Profesores Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia. steinev@pedagógica.edu.co.

## Presentación

Los establecimientos educacionales actuales se comportan aún como si el mundo pudiera dividirse tajantemente en las categorías de la ciencia del siglo XIX: La realidad física, el mundo viviente, y la esfera de la intencionalidad y la acción humanas.

**Ervin Laszlo**

El desbordamiento del mercado tecnológico, la invasión de las nuevas tecnologías de la información en lo más cotidiano de nuestras vidas y el privilegio cultural hacia los conocimientos productos de la ciencia y la tecnología imponen al ser humano contemporáneo nuevas maneras de ser y estar que hacen inexorable su condición de consumidor. Sin embargo, frente a esta condición puede optarse por una actitud pasiva o crítica ante la posibilidad de transformar las relaciones con el entorno y con las dinámicas de producción de saber y con los productos tecnocientíficos.

Esta opción se relaciona directamente con el papel que la escuela desempeña frente a las relaciones que promueve con el conocimiento, pues la condición de alfabetización en cuanto a manejo de los códigos que permiten leer y escribir quedó trascendida; ahora el imperativo es otro, es importante participar de otro tipo de alfabetización que permita asumir creativa y críticamente un papel frente a las dinámicas de saber que se despliegan en el mundo contemporáneo. Desde esta perspectiva, se hace prioritario que la escuela provea de herramientas que permitan a los sujetos relacionarse críticamente con la ciencia y la tecnología, pues de lo contrario quedaremos reducidos a la condición de espectadores pasmados ante la prolífica variedad de productos tecnocientíficos, donde el

sentido de lo que se hace en el aula de clase pierde vínculo con el mundo que habitamos y frente al cual tenemos que tomar decisiones concretas.

Así puede afirmarse que en este nuevo paisaje social y cultural el papel de la escuela como difusora de información se ha agotado. Es pues en una nueva perspectiva como nos hallamos ante unas necesidades y exigencias sociales, que si bien la escuela no puede resolver en su totalidad, sí puede apoyar en la medida en que construya un sentido para las prácticas que allí se desarrollan y asuma un papel crítico frente a la sociedad tecnocientífica con la cual hemos de relacionarnos. Reconocemos que la escuela no puede ser sustituida, que si bien ella y los maestros han sido sustituidos en su labor de informadores, no lo han sido en su participación en la construcción de espacios de socialización que fortalecen la autonomía y la subjetividad, redimensionan las relaciones con el conocimiento y la cultura, y propenden por construir sociedades más democráticas que se piensen y proyecten colectivamente (Arellano, 2005).

Desde el reconocimiento de estos retos y exigencias que se le plantean a la escuela, se considera importante desarrollar análisis que permitan definir el tipo de educación científica que deseamos ofrecer a nuestros estudiantes para abordar comprensivamente una relación con el entorno natural y social. Estos análisis cruzan por plantearnos interrogantes acerca de: ¿Qué tipo de enseñanza es solidaria con una actitud crítica frente a los productos tecnocientíficos? ¿Cuál es el papel del maestro frente a los desafíos que le plantea un mundo tecnológica y científicamente



prolífico? ¿Cuál es el papel de los saberes disciplinares en la escuela?

Preguntas como estas animan las elaboraciones que planteamos en este artículo, para lo cual en un primer apartado se identifican algunos de los supuestos que están a la base de la curricularización de los saberes en la escuela y cómo ello responde a una manera de entender la relación con el conocimiento desde la que se ha naturalizado la fragmentación de los saberes. En un segundo apartado, describimos algunos argumentos de tipo cognitivo, epistemológico y social que abogan por una manera de relación interdisciplinaria con los saberes haciendo explícita la necesidad de transformar las relaciones con el conocimiento que se propician en la escuela.

Este último interés ha movilizó búsquedas que tienen que ver con la definición de metas y la construcción de didácticas más adecuadas para tal logro. Entre estas búsquedas, la propuesta Ciencia, Tecnología y Sociedad, CTS, y Alfabetización Científica y Tecnológica, ACT, constituyen una orientación clara de la forma en que diferentes grupos académicos y sociedades han construido una respuesta para proveer a los ciudadanos una relación más cercana con los productos de la ciencia y la tecnología.

### **Las disciplinas: Curricularización del conocimiento científico en la escuela**

Cuando nos asomamos a entender el mundo físico, biológico, cultural en el que nos encontramos, es a nosotros mismos a quienes descubrimos y es con nosotros mismos con quienes contamos.

Edgar Morin

Estudios en historia y epistemología de la ciencia muestran que uno de los

logros culturales más significativos del siglo XIX lo constituye la consolidación de unos corpus teórico-experimentales denominados disciplinas científicas (Kuhn, 1989; Lakatos, 1983; Jacob, 1988; Bachelard, 1976). Dichas disciplinas (biología, física y química) han tenido un gran impacto en la definición y desarrollo de prácticas socioculturales como la política, la agricultura, la economía, la salud y la industria en general.

El éxito de la influencia de estas disciplinas en las dinámicas culturales ha estado, de alguna manera, garantizado por las formas de relación con estos saberes constituidos que se promueven en la escuela. Es reconocido el peso que desde la escuela básica se da a la formación en los contenidos disciplinares como garantía para acceder y lograr un buen desempeño en la formación universitaria. Desde la formación inicial el estudiante es instalado en un complejo de teorías y de conceptos plenamente diferenciables, que objetivan los productos de la ciencia y la hacen aparecer como opción única y verdadera de relación con el mundo.

En este sentido, desde la escuela básica hasta la formación profesional, las prácticas educativas promueven unas relaciones de identidad entre los contenidos a enseñar y los conocimientos disciplinares. Estas relaciones identitarias, generalmente, se expresan en la transposición de métodos, procedimientos y conceptos, en la cual se desconocen tanto los procesos históricos de constitución de las disciplinas como los criterios desde los cuales se asumen como espacios diferenciados de conocimiento. Es decir, que tales prácticas, por omisión o por ignorancia, no consideran relevante mostrar que las disciplinas son

el resultado de ordenar una multiplicidad de prácticas y saberes y organizar los hallazgos teórico-experimentales de una época.

Aquí se hace explícita la analogía que no siempre es sujeta a revisión por los maestros y es la que se plantea entre las disciplinas científicas y las disciplinas escolares (Fourez, 1994). Pues si bien es cierto que en la escuela se enseña física, química y biología, entre otras, no siempre estos cuerpos conceptuales, las metodologías que se definen o que se promueven en su enseñanza se corresponden con los cuerpos disciplinares que tienen una constitución histórica y que responden a unas necesidades explicativas socioculturalmente determinadas, en las cuales se han configurado unos objetos de conocimiento que las hacen definibles y sustentables epistemológicamente.

Desde esta perspectiva, lo que se inauguró como una organización de los saberes y que posibilitó proyectar sus desarrollos en un momento histórico determinado, se ha traducido en la institucionalización de las disciplinas y en su consiguiente estructuración en currículos cada vez más segmentados que coartan las posibilidades creativas para explicar el mundo y las condicionan a la asunción de teorías, principios, normas, reglas y métodos.

Habría que ver, entonces, si los procesos de curricularización de los saberes en la escuela incluyen las características que definen a las disciplinas y si este proceder vincula la claridad en torno a su objeto de estudio, prácticas metodológicas, tradiciones fundantes y léxico propio, pero, ante todo, en cómo estas características definen una manera de relacionarse con el mundo que permite,

como lo plantea Guidoni (1990), constituirse en una proyección de la realidad que hace ver el mundo bajo una óptica específica.

Sin embargo, lo que se termina promoviendo en la apropiación que se hace de ellas en la escuela está lejos de brindar unas herramientas conceptuales y metodológicas que permitan a los estudiantes comprender el mundo desde la óptica de la física, la química o la biología, pues su estudio se restringe a la apropiación de contenidos considerados estructurantes en cada campo disciplinar sin que se tenga acercamiento ni comprensión de a qué problemas responden, qué explican o por qué se hacen necesarios en las formas de relacionarnos con el mundo natural y social.

Así, ante la ausencia de un sentido para abordar las disciplinas en la escuela, se formulan didácticas desde las cuales se adecuan, seleccionan y ponen en condiciones de enseñanza lo que ya se considera que define los campos disciplinares estatuidos (conceptos, leyes, principios, metodologías, etc.), sin que en ellas medie la forma en que se resuelven problemas del entorno. Tal motivación obedece, por una parte, a que usualmente se asume que la didáctica dota a las personas de los contenidos conceptuales, actitudinales y procedimentales propios de las ciencias desde los cuales pueden enfrentar tanto cuestiones científico-técnicas, como situaciones de la vida cotidiana y, por otra, porque se considera que las disciplinas permiten pasar de las representaciones espontáneas a las científicas, consideradas estas últimas como pertinentes y deseables para habitar el mundo contemporáneo.

Además, las disciplinas constituyen un dominio de la cultura en el que algunos consideran necesario instalarse como ciudadanos, ya que les permite hacerse partícipes de los desarrollos culturales de la humanidad y apropiarse unos saberes y valores que se consideran importantes en sí mismos por el carácter de legitimidad que social e históricamente han adquirido, sin importar si representan alteraciones de las formas mismas de relacionarse con el mundo natural y social.

Desde estas consideraciones, podemos afirmar que la enseñanza de las ciencias se erige como un proyecto cultural, que en el caso colombiano busca ...ofrecerle a los estudiantes la posibilidad de conocer los procesos físicos, químicos y biológicos y su relación con los procesos culturales, en especial aquellos que tienen la capacidad de afectar el carácter armónico del ambiente. Este conocimiento debe darse en el estudiante en forma tal que pueda entender los procesos evolutivos que hicieron posible que hoy existamos como especie cultural y de *apropiarse de ese acervo de conocimientos* que le permiten ejercer un control sobre su entorno (Lineamientos Curriculares. MEN. 1998. La cursiva es nuestra).

Es claro que en argumentos como estos lo que se expresa es una confianza en que la adquisición de los conocimientos científicos proveen las condiciones para llevar una vida más adecuada, comprensiva y armónica de relacionarnos con los otros y con el entorno natural y social. Más que involucrar a los estudiantes en la actividad misma de la producción de conocimiento, se les instala en una relación de exterioridad con unos productos elaborados por unas mentes ex-

cepcionales, decisión que opera desde el supuesto que “el conocimiento científico y el tecnológico son productos sociales en tanto que el conocimiento común es más un acontecimiento individual” (Lineamientos Curriculares, MEN, 1998). Desde esta perspectiva, se hace énfasis en las ciencias exactas, específicamente en la matemática, la física, la química y la biología, cuyas lógicas de organización y producción de conocimiento se consideran imperantes y extrapolables a las formas de organizar la enseñanza de las ciencias en la escuela.

Ahora bien, dada la naturalidad con que se asume la enseñanza de las ciencias por disciplinas en la escuela, se hace necesario interrogar por el origen de ellas y por el carácter de objetividad con que se han asumido hasta llegar a considerarlas como “entidades” dadas que no precisan el estudio de las condiciones de su aparición. Tal análisis permite considerar que los saberes disciplinares se estatuyen en virtud de intereses, definición de problemáticas, desarrollo de proyectos y compromisos de las comunidades científicas en una época dada, y que son estas las condiciones que dan origen a campos de estudio particulares (Latour, 1989).

En este sentido, frente a la imagen que considera las disciplinas como estructuras que conjugan teorías sancionadas, leyes universales y explicaciones únicas y verdaderas, oponemos la imagen según la cual el surgimiento de los corpus teórico-experimentales que sustentan los saberes disciplinares se comprende desde sus dinámicas de estructuración, los contextos de explicación donde se originan, la solución que dan a las problemáticas que se plantean y los procesos de formalización que subyacen

a sus teorías. A la comprensión de estas dinámicas le es solidaria una concepción de ciencia como actividad de la cultura (Ayala, 2005), desde la cual se asigna un carácter social e histórico al conocimiento científico y se asume la consolidación de las disciplinas como un proceso histórico en el que se validan y legitiman procedimientos experimentales y teóricos frente a problemáticas específicas.

Análisis como los planteados permiten trascender la comprensión de las disciplinas desde la institucionalización que promueven respecto a un saber y desde el tipo de relaciones que en diferentes ámbitos de la cultura se establecen con los productos de su especialización y que han llevado a asumirlas desde una visión estática y cerrada.

### **Interdisciplinariedad: ¿una manera para conocer el mundo?**

Los distintos saberes se contemplan como iluminaciones locales que a pesar de todo es importante poner en comunicación; ahí es donde las prácticas interdisciplinares adquieren toda su importancia.

Gerard Fourrez

El cuestionamiento a la enseñanza por disciplinas ha planteado la necesidad de transitar hacia propuestas que respaldan el desarrollo y promoción de formas de trabajo interdisciplinario en la escuela y en diferentes ámbitos de la vida moderna. Así aparecen diferentes formas de legitimar la pertinencia de la interdisciplinariedad que recurren a argumentos que podemos agrupar en tres tipos: cognitivos, epistemológicos y sociales; estos argumentos no se presentan de manera aislada en los

discursos, sino que incluso se mezclan y hacen más fuerte la persistencia de las miradas interdisciplinarias para abordar cierto tipo de prácticas.

El desarrollo de la psicología cognitiva, de la epistemología genética y de lo que actualmente se denominan ciencias cognitivas, ha aportado criterios desde los cuales se da cuenta de los procesos, mecanismos e instancias involucradas en el aprendizaje. Este tipo de desarrollos ha planteado retos a la escuela y a la enseñanza de las ciencias, en la medida en que muestra que los sujetos organizan fenómenos y vivencian el mundo de una forma holística y compleja; es decir, como un todo organizado.

En los enfoques que orientan diversas prácticas de enseñanza de las ciencias se han traducido estos planteamientos como argumentos cognitivos que cuestionan la segmentarización de los saberes y conducen a comprender la dinámica global en la que el sujeto se aproxima a los fenómenos como una forma interdisciplinaria de relación con los saberes; esta forma interdisciplinaria, sin embargo, se hace cada vez más definible y delimitable de acuerdo con el enriquecimiento de la experiencia del sujeto y la capacidad de abordar problemas más específicos. Así, autores como Guidoni (1990) consideran que “no tiene probablemente ningún sentido proponer a los niños modelos especializados y rigurosos como guía para la interpretación de su experiencia”. No obstante las posibilidades de tener relación con esos saberes disciplinares se acrecientan en la medida en que el sujeto accede a un nuevo campo de experiencias y puede concebir las disciplinas como diferentes proyecciones de la realidad o complejos

de instrumentos (abstractos) especializados para conocer. Sin embargo, se mantiene el argumento de que

... sobre todo en un contexto escolar, es particularmente importante desarrollar un modo de conocer no fragmentario, aún cuando necesariamente sectorizado en los distintos criterios con que deben aprenderse las diversas disciplinas (o asignaturas)... que al mismo tiempo no nieguen y no estén en contraste con las evidencias del vivir y del conocer cotidianos (Guidoni, 1990).

Otros argumentos son de tipo *epistemológico* y recurren a la restricción comprensiva que imponen las disciplinas para abordar la complejidad del mundo. Una de las posturas que podemos referenciar en esta línea tiene asidero en los discursos instalados en las nuevas teorías de la ciencia (teoría del caos, teoría de la complejidad) que plantean la incompletitud del saber y asumen el riesgo que sustenta la complejidad de los fenómenos como posibilidad de ingresar a un mundo más rico y creativo. Desde esta perspectiva, la interdisciplinariedad emerge como posibilidad de realizar acciones más integrales y como una postura crítica frente a las disciplinas, que renuncia a una pretensión totalizante. A algunas posturas insertas en este tipo de argumentos se les critica, sin embargo, la forma en que asumen que la interdisciplinariedad es la promesa para llegar a un saber completo que puede abarcarlo todo para cubrir con el manto de los distintos saberes aquello que aparece inabarcable.

Discursos como los de Edgar Morin se constituyen en una base que ejemplifica este tipo de posturas y que abogan por la

necesidad de una transformación multidimensional de aquello que entendemos por ciencia, que compete por ejemplo, a transformar unos de sus imperativos, la inevitabilidad de la parcelación disciplinaria y el fraccionamiento teórico. Con ello se asiste a la necesidad de construir y concebir una nueva ciencia que lo involucre todo, pero sin borrar la individualidad de las disciplinas; aparentemente podría tratarse de una visión abarcante y avara de la ciencia, pero se trata más de una concepción que asuma la indecibilidad como constitutiva de sí misma. En términos del mismo Morin (1998), se trata de “desarrollar un pensamiento lo menos mutilante posible y lo más racional posible”. Con ello se supera la barrera aparentemente infranqueable del lenguaje disciplinario que hace incluso sentir neófito a cualquier especialista frente a otro campo disciplinar específico.

La interdisciplinariedad que propone Morin no implica *inter* de relación que unifica pero que no diferencia; se trata de asumir una postura donde sea posible la unidad que pretende establecer relaciones enriquecedoras, pero respeta la identidad de las disciplinas, sin tratar con ello de afirmar que las disciplinas en sí mismas tienen una identidad, pues el asunto está en poner en cuestión la misma idea de identidad, para ello es necesario acudir a la historia de las ciencias que muestra cómo las fronteras nunca han sido claras y diferenciables, se trata más bien de una tensión permanente, en la que se construye a partir de la relación y el contraste.

Un tercer tipo de argumentos se plantea desde estudios de carácter *sociológico*. Estos argumentos se insertan

en el pragmatismo, que muestra la complejidad de los problemas planteados y la necesidad de empezar a resolverlos desde visiones más integradoras. Desde estos argumentos adquieren sentido algunas investigaciones desarrolladas por profesionales que desde diferentes áreas del conocimiento exponen miradas especializadas sobre un objeto de estudio y que al conjugarse y yuxtaponerse garantizan la complejidad del objeto en su totalidad. De la misma manera, el desarrollo de la actividad científica en la configuración de problemáticas que inicialmente se presentaban como disciplinares ha mostrado la pertinencia de aunar esfuerzos teóricos y experimentales de los diferentes saberes conduciendo a la profusión de proyectos que se consideran interdisciplinarios, como el proyecto Manhattan, los proyectos Genoma o los proyectos Biosfera.

Este tipo de proyectos se configuran como escenarios teórico-experimentales desde los cuales se esgrimen argumentos que solicitan superar las brechas disciplinares para abordar la complejidad cultural a la que nos enfrentamos; es decir, los últimos desarrollos científicos y tecnológicos y su incidencia en prácticas sociales como la enseñanza, la economía, la política, la industria, entre otras. De hecho encontramos discursos sobre la reconfiguración de la ciencia contemporánea a la que se le plantea una revolución interdisciplinaria. Al respecto Laszlo afirma que:

La actual revolución de la ciencia es diferente de las anteriores porque es verdaderamente interdisciplinaria. Y se produce porque no hay razones, científicas o sociales, para seguir adhiriendo a teorías parchadas dentro de disciplinas únicas. Los científicos

podrían producir una teoría general, matemáticamente rigurosa y al mismo tiempo abarcadora, de un universo en desenvolvimiento, en la cual la vida, la sociedad, el homo y la civilización humanas no sean ya elementos extraños entre sí o subproductos accidentales, sino partes integrantes del cambio y desarrollo (Laszlo, 1997).

Esta visión interdisciplinaria resulta ilustrativa para mostrar cómo la comunidad científica quiere hacerle frente al carácter reduccionista y discriminador de las disciplinas y a sus objetos de estudio definidos como originarios e inamovibles.

Por último, resulta interesante ver cómo frente a la retórica de la interdisciplinariedad que se instaura con fuerza en los contextos académicos se abren espacios alternos que plantean un discurso crítico frente a las posturas totalizantes que ya han mostrado su ineficacia y limitaciones para resolver problemas contextuales de comunidades específicas (Escobar, 2005). En este sentido, se promueve una conciencia vigilante frente a las posturas totalizantes que como el paradigma del pensamiento único irrumpen en diferentes ámbitos de la cultura y permean las prácticas sociales en la perspectiva de establecer procedimientos homogéneos y globalizantes que no consideran los contextos específicos de la acción. Dicha conciencia debe actuar con sigilo frente a discursos que como el de la interdisciplinariedad parecen adquirir una legitimidad per se y bajo los cuales pueden coexistir posturas que no siempre son solidarias con el carácter cultural y dinámico del conocimiento científico.



## Perspectivas interdisciplinarias para la enseñanza de las ciencias

Sí efectivamente, el espíritu humano no puede aprehender el enorme conjunto del saber disciplinario, hace falta, entonces, cambiar, ya sea al espíritu humano, ya sea al saber disciplinarizado.

Edgar Morin

Para todos es común afirmar que la enseñanza de las disciplinas en la escuela se ha instituido con tal obviedad que casi nunca se cuestiona su pertinencia, es tal el carácter de verdad con el que se erige, que ha logrado adquirir “vida” propia y las “asignaturas” en que se implementa han dejado de ser espacios conceptuales en diálogo en la escuela. El interés por reflexionar alrededor de tal obviedad ha llevado a maestros, grupos académicos y sociedad en general a hacerse partícipes de la discusión sobre la interdisciplinariedad y las generosidades de tal perspectiva para la enseñanza de las ciencias, esto en la medida en que en ella se anuncia la promesa de adquirir el tipo de procederes requeridos para actuar en un mundo donde los saberes especializados cada vez más necesitan ponerse en diálogo.

Un trabajo de exploración de la interdisciplinariedad como perspectiva para la enseñanza de las ciencias amerita dar cuenta de propuestas como las que están a la base del movimiento CTS (Ciencia, Tecnología y Sociedad) y ACT (Alfabetización Científica y Tecnológica), pues ellas recogen la orientación de una educación interdisciplinaria como una manera de abordar en la enseñanza problemas como los que habitualmente enfrentan los estudiantes y que afectan su cotidianidad, garantizando con ello una adecuada formación para la toma

de decisiones informadas y acciones responsables (Membiela, 2001).

Propuestas como la ACT y la CTS parten de la idea de que para estudiar una determinada cuestión de la vida cotidiana, se precisan múltiples aproximaciones que llevan a vincular los saberes especializados y disciplinarios con los saberes cotidianos y la cultura común, con el fin de obtener soluciones efectivas para generar actuaciones autónomas y pensamiento crítico. Argumentos de este tipo hacen que propuestas como estas ganen un inusitado entusiasmo en maestros y grupos sociales que ven en ellas la solución a la necesaria

...alfabetización en ciencia y tecnología, de manera que se capacite a los ciudadanos para participar en el proceso democrático de tomas de decisiones y se promueva la acción ciudadana encaminada a la resolución de problemas relacionados con la ciencia y la tecnología en nuestra sociedad (Membiela, 2001).

La razón que moviliza esta gran acogida es que en ellas se hace eco a una preocupación cada vez más sentida por maestros, la sociedad en general y, por supuesto, los gobiernos que definen las políticas educativas; y es la necesidad de establecer vínculos entre la escuela, los saberes científicos y tecnológicos y la configuración de sociedades cada vez más preparadas para los mercados laborales y alfabetizadas en las formas de abordar un mundo científico-tecnológico cada vez más complejo.

No obstante, ante tanta magnificencia que se expresa en propuestas como estas habría que hacer beneficio de inventario acerca de cuál es el imaginario que se promueve claramente acerca de la ciencia y la tecnología y cuáles son



las formas de relación con los saberes que intentan instituir en la escuela. Es claro que dichas propuestas no ponen en cuestión la misma legitimidad del conocimiento científico y tecnológico, más bien intentan ponerlo en diálogo con la cultura de base de manera que se inserte paulatinamente y haga parte de las formas cotidianas de proceder de los ciudadanos. A la base de esto está un interés por inscribir la condición del consumidor culto y responsable en las sociedades sin poner en cuestión el problema de las dinámicas de producción de los saberes y mucho menos sin preocuparse por hacer partícipe al grueso de la población de la actividad de construcción de explicaciones del mundo natural y social que anima la producción de saber científico-tecnológico.

Otro aspecto sobre el que habría que reflexionar es la manera en que desde estas propuestas se asume una posición crítica con las prácticas de enseñanza, pero no con la manera en que se legitima y hace hegemónico el pensamiento científico, esto es, con las dinámicas de difusión del conocimiento. Queda pues planteado que la ciencia es un bien en sí mismo, del que debe apropiarse el ciudadano, la criticidad se remite así, a una cuestión de carácter metodológico y didáctico más que ideológico.

Consideraciones como las anteriores muestran que la decisión de orientar prácticas de enseñanza de las ciencias desde las disciplinas u optar por la interdisciplinariedad plantea al maestro la necesidad de tomar postura frente a su hacer y a los privilegios que establece para comprender cómo sus estudiantes se relacionan con los saberes, bien sea

para inscribir su acción en la de difusor de la ciencia y la tecnología o en la de promotor de dinámicas de producción de conocimiento en la escuela. Si bien dicha decisión plantea al maestro la exigencia de hacer una revisión crítica de la noción de disciplina para superar su obiedad, también le plantea la necesidad de cuestionar los intereses que movilizan las opciones interdisciplinarias para la escuela y las relaciones de saber-poder que desde ellas se promueven. Asumir la interdisciplinariedad como una posición crítica frente a la enseñanza por disciplinas que renuncia a una pretensión totalizante y que pone de presente la incompletitud de los saberes, también plantea al maestro la exigencia de asumir los compromisos disciplinares de rigor y ejercicio crítico que su práctica le plantea, así como los compromisos culturales que la sociedad le demanda.

Desde la anterior perspectiva, propuestas como la CTS y la ACT resultan interesantes en la medida en que configuran un campo que solidariza las relaciones disciplinares y propone alternativas para la enseñanza de las ciencias, donde estudiantes y maestros vinculan diferentes ámbitos de conocimiento, intereses, sentires y formas de relacionarse con el mundo de manera holística y no segmentada. Sin embargo, reconocemos que abordar tal perspectiva amerita del maestro una conciencia vigilante frente a los riesgos de superficialidad, pragmatismo y confusión que pueden plantearse cuando se quiere responder a prácticas de enseñanza más contextuales. ▲

## Referencias

- Ayala, M. M. (2006, Jan/abr.). Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. Revista *Pro-posições*, 17,1 (4), pp.19-38.
- Bachelard, G. (1976). *El materialismo racional*. Buenos Aires: Paidós.
- Escobar, A. (2005). *Más allá del Tercer Mundo, globalización y diferencia*. Bogotá: Instituto Colombiano de Antropología e Historia.
- Fourez, G. (1994). *La construcción del conocimiento científico*. Madrid: Narcea.
- Guidoni, P, Arca, M. y Mazzoli, P. (1990). *Enseñar ciencia*. Madrid: Paidós Educador.
- Kuhn, T. S. (1962). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Lakatos, I. (1983). *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Alianza.
- Latour, B. (1989). Joliot: punto de encuentro de la historia y de la física. En: Serres, M. *Historia de las ciencias*. Madrid: Cátedra.
- Lazslo, E. (1997). *La gran bifurcación*. Barcelona: Gedisa.
- Membriela, P. (2001). Una revisión del movimiento CTS en la enseñanza de las ciencias. En: *Enseñanza de las ciencias desde la perspectiva CTS*. Madrid: Narcea.

# La obra de Lavoisier como un modelo para la historia de las ciencias

Julio Alejandro Castro Moreno\*

Artículo recibido: 14-8-2006 y aprobado: 30-4-2008

## Lavoisier's work like a model to science history

■ **Resumen:** Este artículo muestra algunas características de la historia de las ciencias que consideramos de suma importancia. Dentro de ellas destacamos tres: la discontinuidad que se presenta en la construcción del saber científico, el proceso de diferenciación que tuvo la ciencia entre los siglos XVII y XVIII, y las interrelaciones que se presentan entre sociedad y ciencia. Para poder llevar a cabo nuestro propósito, hemos hecho un análisis de la vida y obra de Antoine Laurent de Lavoisier. Las características mencionadas han sido detalladas en cada uno de los apartes en que se ha subdividido el escrito, pero, como se verá, hay un diálogo permanente entre cada una de ellas.

**Palabras clave:** Discontinuidad, diferenciación, contexto sociocultural, actividad científica, historia de las ciencias.

■ **Abstract:** This article shows three characteristics of science history which are considered as the main ones by the authors of this paper. First, the discontinuity that is possible to find in the processes of knowledge building; second, the process of disciplines differentiation that science suffered along the 17<sup>th</sup> and 18<sup>th</sup> centuries; finally, the relationships between science and society. The analysis of Lavoisier's life gives us an important example to study those characteristics, not only in their specific meanings but also considering their mutual relations.

**Key words:** Discontinuity, differentiation, social and cultural context, scientific activity, science history.

---

\* Profesor de la Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia. jcastro@pedagogica.edu.co.

Convencido de estas verdades, me he impuesto la ley de no pasar nunca más que de lo conocido a lo desconocido, de no deducir ninguna consecuencia que no se derive inmediatamente de las experiencias y observaciones, y de encadenar los hechos y verdades químicas en el orden más apropiado que facilita la comprensión a los principiantes.

Antoine Laurent de Lavoisier,  
*Tratado elemental de química.*

### Introducción

En primer lugar, debemos reconocer que el tema que aquí abordamos no es novedoso, ya que se han escrito innumerables trabajos acerca de “la vida y obra de Lavoisier”. Sin embargo, también consideramos que este artículo puede ser una innovación en cuanto al tratamiento que le damos al tema, en la medida en que proponemos un modelo para la historia de las ciencias. En ese sentido, también es posible que dicho modelo dé luces acerca de importantes implicaciones didácticas, tanto en el terreno de la enseñanza de las ciencias, como en el de la formación de maestros. Tales implicaciones están íntimamente relacionadas con la elaboración y socialización de estudios histórico-críticos, como el que ahora presentamos.

Los estudios histórico-críticos de las ciencias naturales cada vez están adquiriendo mayor importancia en diferentes ámbitos (el educativo, por ejemplo), sobre todo porque dan cuenta del porqué y el cómo se han establecido las teorías que consideramos válidas y la manera en que dejaron de serlo aquellas que *han pasado a la historia*. Con este pasar a la historia queremos denotar un hecho que aún sigue presente en algunos discursos históricos: se considera historia a todo aquello que fue y dejó de ser, aquello

que en algún momento fue válido para una comunidad y que ahora se considera como disparates o errores del pasado. Desde nuestro punto de vista, la historia es una reconstrucción constante, es formular problemas y proponer soluciones y, por qué no decirlo, es aventurarse a meterse en los zapatos de aquellos que han dedicado su tiempo para que dejemos de ser *principiantes* y, poco a poco, nos volvamos *sabios*.

Según las historias tradicionales, en el momento en que algunos colegas de Lavoisier intercedieron por él para evitar que su cabeza rodara, alguien les contestó que la *República no necesitaba sabios*. Pero, al parecer, esta frase es apócrifa. En todo caso, independientemente de la pronunciación o no de esta frase, queremos mostrar en este escrito que realmente las sociedades sí necesitan a los sabios, y mucho más, que los sabios precisan muchísimo de las sociedades en las cuales viven.

Nuestro proyecto es mostrar algunas características esenciales de la historia de las ciencias, usando para ello la vida y obra de Lavoisier. Estas propiedades que asumimos como fundamentales son las siguientes: la no-diferenciación en los primordios de la ciencia, es decir, la ciencia que se profesaba alrededor de los siglos XVII y XVIII; la discontinuidad en la historia de las ciencias, o sea, que la forma en que se da paso de una teoría a otra ocurre por rupturas o revoluciones y no por aleación o ensamblaje; y, por último, la estrecha relación que se da entre ciencia y sociedad.

Hemos intentado separar estos tres aspectos de la dimensión histórico-crítica de las ciencias, pero, como veremos, no es factible hacer tal separación de un

modo total. Sin embargo, para efectos de nuestra presentación, asumimos que es posible hacerlo.

### **Lavoisier como geólogo, físico, químico y biólogo.**

#### **O la no-diferenciación en los primordios de la ciencia**

Es muy interesante notar que antes de que existieran las disciplinas totalmente diferenciadas, como ocurrió a lo largo del siglo XIX, aquellos que emprendían la labor científica lo hacían desde diferentes ramas del saber. Por ejemplo, Stahl fue médico y, sin embargo, se le conoce como químico. Cuando Darwin emprendió su viaje en el *Beagle* fue contratado como geólogo más que como naturalista<sup>1</sup>, es decir, como biólogo<sup>2</sup>. Aún más, Darwin antes de embarcarse en el mundo de las ciencias naturales había estudiado para médico y para clérigo, aunque no culminó ninguna de estas carreras.

También es interesante ver cómo a partir del siglo XX las ciencias se han superespecializado, volviéndose cada vez más específicas, y han aparecido *amalgamas* de disciplinas como la biología molecular. En este último ejemplo, podemos notar que vuelve a haber otro tipo de no-diferenciación, en el sentido que en la biología molecular han confluído biólogos, químicos, físicos, médicos e ingenieros, pero lo han hecho desde

una formación científica claramente especializada, mientras que los científicos de los siglos anteriores al XIX emprendían sus labores investigativas desde diferentes puntos de vista, o sea, desde diversas disciplinas que aún no estaban totalmente cimentadas como las conocemos ahora.

Veamos cómo esto puede ser ejemplificado con Lavoisier: en primer lugar, es necesario resaltar que se graduó como abogado en 1764, siguiendo una tradición familiar, y dos años más tarde emprendió trabajos en geología, bajo la dirección de Guettard. En 1768 entró a ocupar un cargo en la Academia Real de las Ciencias de París, debido a que uno de sus integrantes, el químico Baron, había muerto. Aunque el Rey le dio la vacante al ingeniero Jors, Lavoisier logró hacer parte de esta institución como miembro supernumerario (Bensaude-Vincent, 1998).

Sin embargo, antes de entrar a hacer parte de la Academia, Lavoisier ingresó a la Ferme Générale, una institución que recaudaba impuestos para el Estado y ello fue posible porque había recibido una herencia por parte de su abuela. Este tipo de actividad fue muy importante en la vida de Lavoisier y, como veremos en la tercera parte de este escrito, de algún modo, el ser recaudador de impuestos le costó la propia vida.

Retomando la actividad científica de Lavoisier, podemos observar que se hizo químico más por casualidad que por sus propios intereses. Sus primeros trabajos fueron sobre geología y se acercó a la química como una ciencia auxiliar de ésta, y cuando hubo la vacante en la Academia, él pidió que se creara una para física experimental, ya que se describía a

- 
- 1 Puede decirse que algunas rupturas con la historia natural contribuyeron al establecimiento de la biología como ciencia independiente.
  - 2 Aunque en su época y su país no existía una profesión que pudiera denominarse como tal, ya que había varias ramas del saber que estudiaban lo vivo, pero aún no se había consolidado la biología como una ciencia independiente y autónoma.

sí mismo como físico, debido a su acercamiento a las ciencias experimentales y su distanciamiento de las que privilegiaban la observación, como la geología (Bensaude-Vincent, 1998).

Finalmente, podemos ver a Lavoisier como uno de los personajes más importantes en el desarrollo de la química, de ahí que relacionemos su nombre al de esta ciencia. Sus trabajos en dicha disciplina serán detallados a lo largo de este escrito, pero nos falta mencionar una faceta científica de Lavoisier: la de biólogo. Obviamente, cuando hablamos de Lavoisier como biólogo o químico no estamos aludiendo al significado actual de estas profesiones. Lavoisier era un científico, pero la ciencia de su época pasaba por un proceso de diferenciación que en muchos casos apenas estaba iniciando, por ejemplo, la biología, mientras que la física estaba más cimentada como una ciencia con un objeto de estudio claramente especificado.

Si vemos en Lavoisier a un científico que hizo notables aportes a la biología, ellos son sobre todo sus trabajos relacionados con la respiración animal, que era considerada por él como una combustión muy lenta, donde participaba como combustible el carbono y el hidrógeno procedentes de la alimentación, y como comburente, el oxígeno, proveniente del aire.

Como conclusión de este aparte, queremos resaltar que si bien puede verse en el quehacer de Lavoisier una yuxtaposición de actividades en diferentes campos del saber, asimismo podríamos comprenderlo como la integración de diferentes saberes y procedimientos que confluyeron en sus investigaciones químicas. Esta situación puede deberse,

en parte, a la utilización de aspectos conceptuales y procedimentales cimentados en la física, para dar cuenta de una nueva problemática no resoluble desde esa disciplina. También puede inferirse que Lavoisier utilizó las “artes de la abogacía” para defender sus ideas científicas. No obstante, hay que precisar que él también ideó y puso a prueba técnicas y conceptos que podríamos denominar como netamente químicos, pero esto será discutido en la siguiente sección.

### **Lavoisier como decapitador del flogisto. O la discontinuidad en la historia de las ciencias**

El paso de una teoría a otra no se hace tanto por añadidura de conceptos, sino por la creación de nuevas entidades que pueden resultar contradictorias con las anteriores. Aquí retomaremos el ejemplo de cómo la doctrina del flogisto fue desterrada de la ciencia por parte de la teoría del oxígeno. Antes de mirar la manera en que se llevó a cabo esa *revolución química*, es necesario que recordemos algunos de los postulados de la combustión explicada desde el flogisto.

Georg Stahl fue un médico alemán que vivió entre los siglos XVII y XVIII, y postuló la idea de un principio de inflamabilidad al que denominó *flogisto*, que en griego significa arder. Con su doctrina, Stahl estaba poniendo fin a una tradición alquimista para dar origen, según él, a una verdadera química científica, lo que queda de manifiesto en estas líneas escritas en 1723:

La química ha sido durante más de doscientos años dominio exclusivo de los charlatanes, que han causado una infinidad de víctimas (...) Actualmente algunas personas han comenzado a ocuparse seriamente

de esta ciencia. No debe sorprendernos que su número sea pequeño. Era natural que los impostores, las falsas promesas de los fabricantes de oro, los supuestos misterios, los remedios universales y las preparaciones farmacéuticas, a menudo nocivas, de los alquimistas convirtieron la química en algo odioso a las personas honestas y sensibles, y suscitaron en ellas un sentimiento de disgusto provocado por un saber caracterizado por el fraude y por la impostura (citado por Rossi, 1998: 158).

Para Stahl, hay una clara distinción entre la charlatanería propia de los alquimistas y el discurso argumentado característico de la ciencia. Sin embargo, la teoría que él propone no rompe con la tradición, ya que sigue conservando los cuatro elementos aristotélicos, con los que da cuenta de la composición y transformaciones de la materia. Es decir, que las concepciones de Stahl siguen siendo básicamente esencialistas y substancialistas.

Para poder llevar a cabo su proyecto de separar la química de la alquimia, pero además para distanciarse del mecanicismo newtoniano, Stahl recurre a sus maestros y, al parecer, el flogisto es una modificación de *la segunda tierra* de Becher y del azufre o *principio de combustión* de Paracelso. Las tierras de Becher son: vitrificable, combustible y mercurial, las que se corresponden con tres sustancias: sal, azufre y mercurio, que a su vez tienen una afinidad con tres principios: de fijación o solidificación, de combustibilidad y de volatilidad (Estany, 1990: 23). Instaura así una nueva forma de explicar los cambios en la materia, pero cimentando sus bases en principios difíciles de observar y de medir.

Sin embargo, el flogisto no es la única idea de la teoría de Stahl, lo que sucede es que esta es la que ha alcanzado más renombre, sobre todo porque se considera como la idea central de la química anterior a Lavoisier:

Parte de su relevancia proviene del hecho de que la teoría del flogisto puso el énfasis de su explicación en los fenómenos relacionados con la combustión, y fue precisamente la investigación de la combustión la que llevó a Lavoisier al descubrimiento del oxígeno (Estany, 1990: 22).

Según Estany (1990), además de la doctrina del flogisto, la obra de Stahl contiene otras tres teorías:

*Teoría de la materia:* su idea fundamental es que las masas materiales poseen propiedades específicas que permiten reconocerlas y prever sus reacciones. Estas masas materiales se diferencian por su composición y no pueden ser divididas al infinito.

*Teoría de la composición:* trata de explicar las combinaciones entre los principios elementales, la descomposición y el desplazamiento de un cuerpo por otro.

*Teoría de las sales:* pretende caracterizar la primera tierra de Becher, es decir la vitrificable.

Por su parte, la idea del flogisto encaja perfectamente en la idea que Stahl tiene de la química como “el arte de descomponer cuerpos compuestos en sus principios básicos y recomponerlos de nuevo”:

La química, llamada otras veces alquimia y espagírica, es el arte de disolver los cuerpos, tanto mixtos como compuestos o incluso los agregados, en sus principios elementales, o bien de combinarlos en tales a partir de



los principios elementales. Tiene por sujeto todos los cuerpos mixtos y compuestos que son solubles y combinables. Tiene por objeto la disolución y combinación mismas, o la corrupción y generación: y de la misma manera que no se alcanza el fin sin los medios, así también corresponden a esta ciencia distintas cosas según la diversidad de los sujetos (citado por Estany, 1990: 23-24).

Vemos en las palabras de Stahl algo que se hizo muy evidente en sus discípulos: la idea de la combustión como análoga a la disolución. Recuérdese que para Priestley, por ejemplo, la combustión consistía en que un cuerpo saturado de flogisto, lo perdía al quemarse y si el aire estaba *desflogisticado* este se saturaba de dicho principio. Cuando el aire se *flogisticaba* se detenía la combustión, porque él no podía *disolver* más flogisto.

La teoría del flogisto puede simplificarse como sigue: este es un principio ontológico imponderable que se encuentra en todos los cuerpos combustibles; cuanto más flogisto posea un cuerpo, mayor será su capacidad para combustir. Además, el flogisto puede pasar de un cuerpo que lo posee en gran cantidad a otro que lo tiene menos, o no lo posee en absoluto. Y por último, el aire puede saturarse de flogisto durante la combustión, y cuando ello ocurre ya no hay posibilidad de que continúe dicho proceso. A la luz de nuestros conocimientos actuales, este tipo de argumentación sería relativamente fácil de refutar; sin embargo, esta teoría estuvo vigente durante aproximadamente un siglo.

A pesar de ser un ente imponderable, Stahl caracterizó al flogisto de la

siguiente manera (Estany, 1990: 30): es considerado como el principio de la combustibilidad, que no se debe confundir con la llama o el fuego-material. No se puede coger (es inasible), es insoluble<sup>3</sup>, y compone en mayor o menor proporción todos los cuerpos susceptibles de ser consumidos por el fuego. En su *Tratado sobre el azufre*, Stahl le confirió las siguientes propiedades al flogisto o principio-fuego (Citado por Estany, 1990, 30):

La primera cosa a examinar en relación con el principio azufroso es:

1. Su propiedad relativa al fuego.
2. La propiedad que tiene de colorear.
3. Su combinación íntima con otras sustancias sutiles.
4. La manera de comportarse en relación con el agua y la humedad.
5. Su sorprendente división y atenuación.
6. Su naturaleza, sea en estado sólido, sea en estado fluido.
7. Dónde se encuentra.

Podríamos preguntarnos cómo una explicación que se basa en un principio muy difícil de ser observado y cuyas propiedades no puedan demostrarse por medio de la experimentación, haya podido permanecer en la tradición científica durante un periodo tan largo. A lo que puede responderse argumentando que no hubo una teoría que explicara mejor la combustión, hasta que Lavoisier propuso la explicación del oxígeno<sup>4</sup>.

3 Pero como vimos, esta idea cambió en algunos de sus discípulos.

4 No desconocemos la posibilidad de que los seguidores de la doctrina del flogisto hayan medido este principio y hayan ideado pruebas experimentales que confirmaran sus afirmaciones. Es decir, no

Quizás el punto débil de la teoría del flogisto consistió en su incapacidad para explicar por qué había un aumento en el peso de los metales después de la calcinación. Ello se argumentaba diciendo que el flogisto poseía un principio *levitatorio*, que era contrario a la fuerza de gravedad o, en otros términos, que poseía un peso negativo. También se argumentaba que la materia del fuego reemplazaba al flogisto que abandonaba al cuerpo durante la combustión, lo que implicaba que esta tuviera un peso muy elevado. Sin embargo, el sentido común nos conduce a pensar en el fuego<sup>5</sup> más como un fluido liviano que como un cuerpo sólido y muy pesado:

Otro problema consistió en explicar por qué cesa la combustión en un recipiente cerrado, situación que se explica diciendo que el aire pone en movimiento las partículas del flogisto y cuando este movimiento alcanza una velocidad suficiente se desprende el flogisto del cuerpo (Mosquera, Mora y García, 2003: 117).

Es precisamente a partir de estas observaciones, con respecto al aumento del peso de los metales tras la calcinación y la supuesta flogistización del aire durante la combustión, que Lavoisier entró en conflicto con la doctrina del flogisto, pero no lo hizo abiertamente, sino a par-

tir de un plan que hoy podríamos asumir como perfectamente diseñado.

Según Bensaude-Vincent (1998), los historiadores contemporáneos distinguen en este episodio la *estructura de una revolución científica* que se caracteriza por síntomas de crisis, aparición de un nuevo paradigma y división y conflicto en el seno de una comunidad científica<sup>6</sup>. Dicha revolución *lavoisieriana* culminó con la publicación del *Tratado elemental de química*, precisamente el mismo año en que comenzó la Revolución Francesa, en 1789. Pero veamos de qué modo se llevó a cabo esta importante ruptura en el saber científico.

En muchos lugares se ha afirmado que la revolución de Lavoisier de debió sobre todo al uso de la balanza, mediante la cual pesó los reactivos, los productos y los implementos usados en una combustión, antes y después del proceso. Sin embargo, esto no es cierto del todo, pues ya se usaba este instrumento en las experiencias químicas, aunque no se hacía desde la perspectiva en que lo hizo Lavoisier. Es decir, que más que el uso de la balanza en sí, lo que Lavoisier introdujo en la química fue una nueva forma de plantear y de asumir los problemas relativos a los cambios de masa tras una combustión. No es el uso del instrumento *per se*, sino la teoría que guía su uso lo que cuenta a la hora de hablar de una innovación metodológica. Desde ese momento, la balanza es una especie de juez experimental, en especial el estudio de los gases:

---

asumimos que dicha doctrina estuviera cimentada solamente en posturas metafísicas. Lo que queremos reiterar es que la teoría del oxígeno demostró ser más apropiada para dar cuenta del fenómeno de la combustión.

5 Como ha señalado Bachelard en su *Psicoanálisis del fuego*, este aún sigue siendo un problema de conocimiento, y en los cursos de química dicha problemática se ha omitido u obviado, en vez de ser abordada y superada. Al respecto véase el texto de Orozco (1996).

---

6 Todo ello característico del lenguaje de Kuhn para dar cuenta de las revoluciones científicas. Afirmaciones que cuestionaremos, en parte, en el apartado de reflexiones finales.

Su utilización se impone junto con la de la caja neumática, un aparato cerrado que sirve para recoger los gases, y el gasómetro, que permite medir el volumen de los mismos. Joseph Black, Carl Sheele, Henry Cavendish y Lavoisier apelan a toda la habilidad y el ingenio de los artesanos de su país para obtener balanzas cada vez más precisas y perfectas (Bensaude-Vincent, 1998: 415).

Lavoisier pesa todo antes y después del experimento, lo que ha sugerido su paternidad de la ley de la conservación de la masa, pero al parecer no es de su autoría. Sin embargo, este principio orientó su quehacer en el laboratorio y le permitió emitir las conclusiones que llevaron al derrumbamiento de la teoría del flogisto.

Lavoisier decidió colocar en un sobre lacrado los resultados obtenidos en sus primeros experimentos sobre la combustión, donde daba cuenta del aumento del peso de las sustancias después de dicho proceso. Este sobre fue entregado a la Academia el primero de noviembre de 1772 y solo fue abierto el 5 de mayo del año siguiente, cuando sus trabajos y conclusiones estaban más avanzados. Dentro del sobre, Lavoisier consignó lo siguiente:

Hace unos ocho días descubrí que al quemar azufre, el peso de éste, en lugar de disminuir, aumentaba; es decir que de una libra de azufre podíamos obtener más de una libra de ácido vitriólico, sin tener en cuenta la humedad del aire; lo mismo ocurre con el fósforo: este aumento de peso proviene de la cantidad prodigiosa de aire que se fija durante la combustión y que se combina con los vapores. Este descubrimiento, resultado de una serie de experimentos que con-

sidero decisivos, me indujo a pensar que lo que observaba en la combustión del azufre y del fósforo podía tener lugar, igualmente, con todos los cuerpos que ganan peso tras la combustión o la calcinación; y me convencí incluso de que el aumento de peso de las cales metálicas respondía a la misma causa. El experimento ha confirmado completamente mis conjeturas; he procedido a reducir litargirio en recipientes cerrados, con el aparato de Hales, y he observado que, en el momento en que la cal se convierte en metal, se desprende una cantidad considerable de aire, y que este aire forma un volumen mil veces superior al de la cantidad de litargirio utilizada. Este descubrimiento me parece uno de los más interesantes desde los de Stahl y, por ello, he considerado que era mi deber asegurarme de su autoría, depositando ante la Academia el presente sobre, para que sea mantenido en secreto hasta que publique mis experimentos (citado por Bensaude-Vincent, 1998: 418).

Vemos en este párrafo que Lavoisier cita a Stahl como un antecesor, pero en realidad lo que está proponiendo es poner de presente que, si bien ha sido uno de los patriarcas de la química, su doctrina carece de coherencia con la experimentación. Es importante que nos centremos en mirar de qué manera los trabajos de Lavoisier permitieron echar a tierra los fundamentos de la doctrina de Stahl. En primer lugar están sus trabajos que llevaron a confrontar la idea de los elementos-principios, los cuales están a la base de la teoría del flogisto y que habían sido heredados de la tradición griega.

Inició con unos trabajos sobre la composición del yeso, o sea, sobre *la tierra*,

cuando aún su interés estaba centrado en la geología. Posteriormente, y por encargo de la Academia, hizo estudios sobre el alumbrado público, es decir, sobre *el fuego* y la combustión, trabajo realizado en 1774. Tres años más tarde realizó un trabajo sobre la composición del *agua* de los Vosgos<sup>7</sup>. Y posteriormente llevó a cabo una investigación acerca del suministro de agua en París, en el que estudió las relaciones entre *el agua* y *la tierra*. En la tradición basada en los elementos-principios se aseguraba que cada uno de ellos podía transmutarse en alguno de los tres restantes, por lo que no era descabellado afirmar que el agua se convertía en tierra.

Esto parecía ser explicado por la aparición de un residuo sólido en el agua de París, idea que fue refutada por Lavoisier al demostrar que después de 101 días de ebullición, el peso de un volumen de agua se mantiene constante, mientras que el recipiente pierde un peso igual al de los residuos sólidos que aparecen en el fondo. El agua no se transforma en tierra, sino que disuelve cierta parte del recipiente, que luego se sedimenta:

Así mismo, según las notas manuscritas en 1776 y 1778, Lavoisier trabaja sobre las relaciones entre el agua y el fuego, y, tras diversas lecturas, adopta la idea de que todas las sustancias pueden existir en los tres estados (sólido, líquido o aeriforme) dependiendo de la cantidad de materia del fuego que se combina. Lavoisier ha examinado, uno por uno, los cuatro elementos (Bensaude-Vincent, 1998: 420).

Es decir que ha sustituido la tierra por lo sólido, el aire por lo aeriforme, el agua por lo líquido y el fuego ahora es el responsable del estado, de acuerdo con su cantidad.

Lavoisier inició sus experimentos sobre el flogisto en 1772, a partir de una publicación de Guyton de Morveau, donde explicaba el aumento de peso del plomo durante la calcinación, admitiendo la pérdida de flogisto, que tenía peso negativo. Al parecer, Lavoisier ya había concebido su plan revolucionario, aunque en sus primeros escritos fue muy discreto y no atacó abiertamente las ideas de Stahl y sus seguidores:

La explicación de Lavoisier es opuesta a la precedente: la combustión libera el flogisto contenido en el cuerpo combustible, para Lavoisier se trata de una combinación con el aire; la fuente de calor ya no se encuentra en el combustible (flogisto), sino en el aire (calórico). Ello supone la inversión del papel del calor: para Stahl el calor, al fijarse, provoca una combinación o una condensación. Para Lavoisier, provoca una expansión, incluso una desagregación (Bensaude-Vincent, 1998: 421).

Podríamos decir que el trabajo de Lavoisier consistió en erradicar la teoría del flogisto, inventando una nueva ontología, en gran parte opuesta a la anterior. Si bien se le ha refutado el hecho de querer erradicar los elementos-principios y mantener el nombre de elemento, de sustituir el flogisto por el calórico y de asumir que el oxígeno hace parte de todos los ácidos, también es cierto que:

- El elemento ya no lo define como un concepto metafísico, sino como lo obtenido mediante el análisis experimental.

7 Cadena montañosa situada al nordeste de Francia, donde existen yacimientos minerales, principalmente de hulla y petróleo.

- El calórico no es equiparable al flogisto, ya que este sí es ponderable mediante el termómetro, mientras que el flogisto escapa a una medición de ese estilo.
- A pesar de que el oxígeno no es un principio de la acidez<sup>8</sup>, sí es la base de la mayoría de las combustiones. Es decir, que actualmente este elemento no juega un papel en la teoría de los ácidos, pero sigue siendo el ingrediente más importante a la hora de explicar la combustión.

De acuerdo con Bensaude-Vincent (1990), la campaña revolucionaria de Lavoisier se llevó a cabo en tres etapas, que resumiremos enseguida.

El proyecto de Lavoisier comienza en 1783, cuando demuestra que el agua está conformada por dos elementos, es decir, echa al piso el último de los elementos-principios. Dichas experiencias fueron de síntesis y no de análisis. Del mismo modo, a partir de su memoria *Reflexiones acerca del flogisto*, empieza a utilizar un tono más duro y deja la pru-

dencia a un lado, ya que es consciente de que ha abonado muy bien el terreno para cimentar su revolución. Prueba de ello está en una de las primeras páginas de la memoria mencionada:

Ruego a mis lectores, desde el comienzo de esta memoria, que se despojen, en la medida de lo posible, de cualquier tipo de prejuicio: que no vean en los hechos más de lo que presentan, que eliminen todo lo que el razonamiento ha dado por supuesto, que se trasladen a los tiempos anteriores a Stahl, y que olviden, por un instante, de ser posible, la existencia de su teoría (Lavoisier, 1956 [1783]: 122).

Podemos apreciar la manera en que invita a sus lectores a borrar el pasado, a que se sumerjan en una amnesia colectiva, ya que de todas maneras quiere hacer desaparecer la teoría de Stahl. En este mismo escrito, Lavoisier comenta que Stahl asume el flogisto como un principio terroso, y que, por tanto, pesa. Sin embargo, su teoría no explicaba un hecho verificado por Boyle, que *“todos los cuerpos combustibles aumentan de peso cuando se queman y calcinan”* (Lavoisier, 1956 [1783], 124), y según la teoría del flogisto, los cuerpos al quemarse pierden este principio, lo que les llevaría a perder peso, pero en vez de perder, aumentan.

Una vez que ha preparado los experimentos sobre la síntesis del agua y ha superado los problemas logísticos, como la consecución de grandes cantidades de hidrógeno, Lavoisier termina su primera etapa revolucionaria: realiza la síntesis del agua, en presencia de varios sabios y nobles de su época, lo que le permite rodearse de aliados, dentro de los que se destacan Berthollet, Fourcroy y Guyton de Morveau.

8 Etimológicamente hablando, y desde una perspectiva contemporánea, Lavoisier no descubrió el oxígeno, ya que ello significa *formador de ácidos*, nombre que merecería más nuestro actual hidrógeno. De hecho, el oxígeno tendría el mismo derecho de llamarse hidrógeno, porque también es formador de agua. Sin embargo hay que precisar que si Lavoisier denominó al oxígeno de esta manera es porque él consideraba que en toda combustión (obviamente en presencia de oxígeno) se formaban ácidos. En ese sentido no sería ilógico que hubiese utilizado tal nominación. Por ejemplo, él creía que si se quemaba fósforo en presencia de *aire eminentemente respirable*, se produciría ácido fosfórico. Por lo tanto, si Lavoisier creía que el oxígeno participaba en la formación de los ácidos (como una condición), y que aquel podría entrar a hacer parte de la composición de estos, entonces es posible comprender su propuesta de bautizar así a dicho elemento.

La segunda etapa inicia cuando, ya rodeado de aliados, emprende un cambio en el lenguaje de la química, para dotarla de las características de una ciencia universal, en la cual se hable un idioma entendible por todo el mundo. Lavoisier, inspirado en la importancia del lenguaje, a partir de la lectura de los textos del abate de Condillac, inicia esta nueva tarea:

La supresión de los nombres usados corrientemente y la construcción de una lengua artificial, basada únicamente en la teoría de Lavoisier, suponía la desvinculación con el pasado. Mejor aún: un renacimiento a través del bautismo (Bensaude-Vincent, 1998: 423).

Esta empresa culmina en 1787 con la publicación del *Método de nomenclatura química*, cuyos autores son Lavoisier, Berthollet, Fourcroy y Guyton de Morveau. Sin embargo, a pesar de ser un trabajo colectivo, Lavoisier se reserva el papel de director. Podemos afirmar que esta propuesta de cambiar los nombres de las sustancias:

Es mas bien un “método de designar” que una nomenclatura. El principio básico es una lógica de la composición: crear un alfabeto de palabras simples para designar sustancias simples; luego designar las sustancias compuestas con nombres compuestos, formados por yuxtaposición de nombres simples (Bensaude-Vincent, 1998: 423).

Con la creación de la nueva nomenclatura, Lavoisier lleva a cabo una doble ruptura; de un lado, con el lenguaje antiguo, usado durante más de un siglo. De otro lado, hay una ruptura entre el lenguaje químico de los académicos y el de la química artesanal practicada por dro-

gueros y perfumistas. Vemos pues, que se propone institucionalizar el lenguaje químico, distanciándolo del vulgo.

La tercera y última etapa de la revolución química es la publicación del *Tratado elemental de química*, que es presentado por Lavoisier como una continuación lógica de sus trabajos sobre nomenclatura. Una vez desterrado el pasado, debe asegurarse de que su obra sea difundida: hay que reclutar a los principiantes. Sin duda alguna, las etapas precedentes le abrieron el camino para que se erigiera como nuevo fundador de la química: como ha borrado con el pasado, la mejor manera de asegurarse que su obra sea difundida y aceptada es llegar al público joven, que no tiene ningunos prejuicios y, por tanto, puede aprender esta ciencia más fácilmente.

En el *Discurso preliminar de su Tratado*, Lavoisier hace declaraciones importantes que es bueno tener de presente. En primer lugar, se va lanza en ristre contra los elementos aristotélicos:

He de advertir aquí que la manía que tenemos de que todos los cuerpos naturales se compongan únicamente de tres o cuatro elementos se debe a un prejuicio heredado de los filósofos griegos. Admitir que cuatro elementos componen todos los cuerpos conocidos sólo por la diversidad de sus proporciones, es una mera conjetura imaginada mucho antes de que se tuviesen las primeras nociones de la física experimental y de la química (Lavoisier, 1982 [1789]: 10).

Una vez que refuta esta definición de elemento, procura emitir la suya propia, lo que es un aspecto bastante importante del proceder de Lavoisier:

Todo lo que puede decirse sobre el número y la naturaleza de los ele-



mentos se reduce, en mi opinión, a puras discusiones metafísicas: sólo se intenta resolver problemas indeterminados susceptibles de infinitas soluciones, ninguna de las cuales, con toda probabilidad, será acorde con la naturaleza. Me contentaré, pues, con decir que si por el nombre de elementos queremos designar a las moléculas simples e indivisibles que componen los cuerpos, es probable que los ignoremos; pero si, por el contrario, unimos al nombre de elementos o principios de los cuerpos, la idea del último término al que se puede llegar por vía analítica, entonces todas las sustancias que hasta ahora no hemos podido descomponer por cualquier medio serán para nosotros otros tantos elementos; con esto no queremos asegurar que los cuerpos que consideramos como simples no se hallen compuestos por dos o mayor número de principios, sino que como nunca se ha logrado separarlos, o, mejor dicho, faltándonos los métodos para hacerlo, debemos considerarlos cuerpos simples y no compuestos hasta que la experiencia y la observación no demuestren lo contrario (Lavoisier, 1982 [1789]: 11).

Igualmente se encuentra en este *Discurso preliminar* una invitación a romper radicalmente con toda la historia pasada, es decir, Lavoisier se propone fundar un nuevo saber:

Quizá se me censuraría con más fundamento, el que no dé en la obra que presento al público ninguna relación histórica de las opiniones de los que me han precedido y sólo muestre las mías sin examinar las de los demás. De aquí resulta que no he dado a mis colegas, y menos a los extranjeros, la justicia que deseaba rendirles; pero ruego al lector considere que si se

acumulan citas en una obra elemental, si nos detenemos en prolijas consideraciones sobre la historia de la ciencia y de las aportaciones de los que la han cultivado, se perdería de vista el objeto principal marcado y se elaboraría una obra de lectura fastidiosa para los principiantes. No es un tratado elemental el lugar adecuado para hacer la historia de la ciencia ni del espíritu humano; en él sólo se debe buscar la facilidad y claridad, procurando descartar todo lo que podría tender a distraer la atención. Este es un camino que se ha de ir allanando continuamente sin dejar pervivir ningún obstáculo que pueda ocasionar el menor retraso (Lavoisier, 1982 [1789]: 16).

Vemos que aquí lo elemental tiene dos connotaciones; de un lado, está la definición de elemento analítico, en oposición al elemento esencialista. Y, de otro lado, lo elemental se concibe como el primer escalón para llegar al conocimiento químico. Se construyen los cuerpos a partir de los elementos químicos y se construye el conocimiento a partir de los conceptos elementales.

Dejemos de lado la química, por un momento, para observar la manera en que el conflicto entre Lavoisier y Stahl va más allá de la confrontación entre oxígeno y flogisto. Esta ruptura también se halla en la concepción de lo vivo. Para Stahl la doctrina filosófica a defender es el *animismo*, mientras que Lavoisier se inscribe en el *mecanicismo*.

Según Radl (1988), el *vitalismo* (o, más precisamente, el *animismo*) como doctrina filosófica, se presenta por primera vez en las concepciones de Stahl. Dichos planteamientos se desarrollaron como contraposición al mecanicismo surgido de los trabajos de Newton. Para Stahl,



el organismo es totalmente opuesto al mecanismo, ya que en el primero tienen lugar los movimientos, mientras que en el segundo ellos son producidos.

La teoría del alma (ánima) constituye la médula de la filosofía natural de Stahl. También en la biología aristotélica desempeña el concepto del alma, de la psique, el papel más importante. Pero Stahl no fue capaz de remontarse al audaz concepto aristotélico del alma. Mientras en Aristóteles el alma significa la médula del organismo, de su forma y de sus fuerzas, Stahl se dejó influir por el concepto cristiano y por la concepción cristiana del alma, como principio inmaterial, consciente, que planea sobre la máquina corpórea. Por eso se llama su teoría animismo. Stahl conserva el dualismo cartesiano del espíritu y el cuerpo. Enseña que el alma no puede nada sin el cuerpo; no puede percibir nada, ni por tanto conocer nada sin los sensorios corporales; no puede realizar su voluntad sin el servicio de los órganos corporales. Por eso es necesario el cuerpo; lo es como medio que hace posible las intenciones del alma (Radl, 1988: 210).

Apreciamos en la doctrina de Stahl, no solo el mantenimiento de los cuatro elementos, sino también el concepto de alma heredado de la tradición griega y luego reelaborado por el cristianismo. El alma es como esa fuerza vital, que no se puede ver ni medir, pero que le confiere la propiedad de vivo a los *seres animados*<sup>9</sup>. Son bastantes las similitudes entre el concepto de alma y el de flogisto, con

la diferencia de que el primero explica lo vivo y el segundo las combustiones.

Podemos decir, entonces, que el *mecanicismo* también tiene varias acepciones, dependiendo del contexto desde el cual se hable. El mecanicismo newtoniano asumía que todo está compuesto de partículas inertes que se mueven según la fuerza que se aplique sobre ellas. Así como en el cielo hay una máquina que permite el movimiento de los astros, del mismo modo en el mundo microscópico hay ciertas condiciones que permiten los engranajes entre las partículas y así facilitar el movimiento. Stahl reaccionó contra este tipo de mecanicismo:

Pero en contra del programa mecanicista y newtoniano, basado en la absoluta homogeneidad y que corría el riesgo de llevar a la investigación a un callejón sin salida, advertía precisamente Stahl de la necesidad de *retornar* a la química de los principios y a los elementos de la tradición esencialista. Y aún más: Stahl admiraba profundamente la *Physica subterranea* de Joachim Becher (Rossi, 1998: 158).

Con este título, Stahl hizo reeditar la obra de su maestro en 1669. En dicho trabajo se hallan ciertas afirmaciones que pueden entenderse como un retorno al paracelsismo, ya que se asume:

La idea de que el estudio de la naturaleza debe comenzar con una explicación del relato mosaico de la creación; la analogía macrocosmos-microcosmos; el paralelismo entre vegetales y animales; la creencia en la generación espontánea. La tesis de que los metales “crecen” en las entrañas de la Tierra; por último, el paralelismo entre la perpetua y eterna circulación que se produce en el cosmos y la destilación química (Rossi, 1998: 159).

9 Desde la doctrina del animismo se asumía a lo viviente como dotado de un ánima, y lo inerte, carente de ella, de ahí el significado de ser animado e inanimado.

Es decir que todo está impregnado de vida, no hay una clara diferenciación entre el mundo vivo y el inerte. De igual manera que el flogisto puede pasar de un cuerpo a otro, el principio vital puede alojarse en los minerales que crecen, o la materia inerte espontáneamente puede ser activada por este principio vital.

Por su parte, Lavoisier concebía lo vivo, principalmente los animales, desde el punto de vista mecanicista, que sostiene la total identidad entre un organismo y una máquina. Él trasladó sus investigaciones sobre la combustión a la respiración animal. De hecho, para Lavoisier la respiración no es otra cosa que una combustión, pero más lenta. Veamos, entonces, cómo desplazó sus experimentos hacia la fisiología animal.

Encerró en un aparato 50 pulgadas cúbicas de aire común y 4 onzas de mercurio muy puro, que sometió a calcinación. Al cabo de algunos días, aparecieron puntos rojos sobre el metal, que fueron aumentando con el paso del tiempo. Luego, al terminar el experimento, notó que había una disminución en el volumen de aire original, equivalente a la cal de mercurio aparecida. El aire restante tenía la propiedad de apagar una vela, no servía para respirar y no precipitaba el agua de cal. Es decir que el mercurio se había combinado con la mejor parte del aire, la que en realidad sirve para respirar.

Posteriormente hizo el experimento contrario; redujo la cal de mercurio y obtuvo aire respirable, que mezcló con el mefítico (el que había quedado en el experimento anterior) y produjo nuevamente aire común. De ahí pudo deducir que el aire está formado por “un quinto de aire eminentemente respirable y por cuatro quintos de una mofeta in-

capaz de permitir la respiración de los animales”(Lavoisier, citado por Giordan *et ál.*, 1988: 48).

Lavoisier repitió su primer experimento, pero en vez de calentar el mercurio, introdujo un gorrión, que al cabo de 55 minutos murió. Inmediatamente introdujo otro, pero este solo sobrevivió unos instantes. La diferencia entre los dos experimentos se halló en el hecho de que el aire producto de la respiración, además de apagar las velas, sí precipitaba el agua de cal y no hubo un cambio sustancial entre el volumen de aire inicial y el final.

Para Lavoisier es posible que el oxígeno que entra en el cuerpo del animal se absorba por la sangre y sea remplazado por gas carbónico (aire fijado), mientras que el aire mefítico (nitrógeno) no sea transformado en la respiración y sea pasivo con respecto a esta. Lavoisier trabajó con Seguin sobre la respiración animal y en sus conclusiones puede verse una concepción del animal como máquina: En la combustión y en la respiración se consume oxígeno y se produce gas carbónico y calórico, pero en el animal, es la sangre misma la que suministra el combustible. De ahí que Lavoisier y Seguin afirmen que: “Si los animales no recuperaran, habitualmente mediante los alimentos, lo que pierden por la respiración, pronto faltaría aceite a la lámpara, y el animal perecería, igual que una lámpara se extingue por falta de sustento” (citados por Giordan *et ál.*, 1988: 50).

Una vez que Lavoisier y Seguin han encontrado las interrelaciones entre respiración y nutrición, deben proponer un mecanismo que explique la liberación de calor, para evitar el recalentamiento del animal. Por ello afirman la necesidad

de la transpiración, puesto que esta “facilita la liberación de cierta cantidad de calórico... y, en consecuencia, impide que el individuo, merced al continuo enfriamiento que produce, no alcance un grado de temperatura superior al marcado por la naturaleza” (citados por Giordan *et ál.*, 1988: 50).

A partir de 1780, Lavoisier inicia sus trabajos sobre el calor junto con Laplace. Crean aparatos de calorimetría para medir el desprendimiento de calor producido por la respiración animal, y asumen que esta cantidad es la causa de la conservación del calor del organismo. Y asumen también que la respiración es una combustión pero muy lenta, donde no hay evidencia del desprendimiento de luz y fuego, ya que estos son absorbidos por la humedad de los órganos. Dicho proceso de combustión tiene lugar en los pulmones y la sangre lleva el calor a todo el cuerpo del animal, de lo que se deduce que:

(...) el aire que respiramos tiene dos objetivos, igualmente necesarios para nuestra conservación: retira de la sangre la base de aire fijo cuya sobreabundancia sería muy perjudicial; y el calor que esta combustión libera en los pulmones repara la pérdida continua de calor que sufrimos debido a la atmósfera y a los objetos que nos rodean (Lavoisier, citado por Giordan *et ál.*, 1988: 50).

Posteriormente y a partir de los experimentos sobre calorimetría, Laplace y Lavoisier descubren que durante la respiración el calor liberado es mayor de lo que se esperaría. Por tanto, sugieren que el carbón no es el único combustible, sino que además interviene el hidrógeno, ambos provenientes de los alimentos. Al asumir la participación del hidrógeno en la respiración, pueden

además explicar la aparición de agua como producto de esta.

Para finalizar este aparte, veamos algunas de las conclusiones que emitió Lavoisier, a partir de sus experimentos sobre la respiración, donde se evidencian sus concepciones mecanicistas opuestas al animismo de Stahl:

La máquina animal está gobernada fundamentalmente por tres reguladores principales: la respiración que consume hidrógeno y carbono y proporciona calórico; la transpiración que aumenta o disminuye, según se necesite retirar más o menos calórico; y, por último, la digestión, que suministra a la sangre lo que pierde por la respiración y la transpiración (Lavoisier, citado por Giordan *et ál.*, 1988: 52).

### **Lavoisier venerado y decapitado. O la estrecha relación entre ciencia y sociedad**

La última característica de la historia de la ciencia que pretendemos resaltar en este trabajo consiste en dar cuenta de cómo la actividad científica no puede ser ajena a un contexto sociocultural, pero de igual manera se quiere evidenciar que las sociedades no son indiferentes al quehacer de los científicos.

En el caso de Lavoisier nos encontramos con una paradoja, que ya ha sido resaltada por varios autores: el padre de la química fue victorioso en la revolución científica que llevó a cabo, pero otra revolución, la Francesa, lo condenó a muerte en la guillotina; aquel que dedicó varios años de su vida para dejar sin cabeza a la doctrina del flogisto, perdió la suya en un instante, después de haber sido condenado por traición a la patria.

Pero las paradojas no terminan allí: su revolución química, que le dio gloria, culminó exactamente el mismo año en que se inició la Revolución que le arrebató la vida. Según las historias que se han escrito de Lavoisier, el hecho de haber sido recaudador de impuestos del viejo régimen, llevó a ser considerado como traidor por el nuevo orden político que estaba imponiéndose en Francia.

Uno de los aspectos que queremos resaltar es que, entre una revolución científica y una revolución política existen muchas similitudes. Esto queda de manifiesto en hechos como los siguientes: en ambos tipos de revolución se quiere acabar el viejo orden para poder instaurar uno totalmente nuevo; el nuevo paradigma no crea sobre las bases de su antecesor, sino a partir de sus ruinas. Igualmente, en los dos hay un cambio del lenguaje, y así como Lavoisier quiso hacer olvidar los nombres antiguos, para cimentar un nuevo idioma, de igual manera la Revolución Francesa se esforzó por cambiar, entre otras cosas, el nombre de los meses, empezó a contar el tiempo nuevamente y racionalizó los pesos y las medidas, los que ahora estarían basados en aspectos meramente naturales; ya no se hablaría del pie, sino del metro.

La revolución francesa suprimió el antiguo calendario y empezó su Año I el 22 de septiembre de 1792, año de la fundación de la República, igualmente

Los meses ya no llevarían nombres de dioses o emperadores romanos, sino que registrarían el paso natural de las estaciones (tal era el caso de brumaire, brumoso; ventose, ventoso; germinal, germinal), parte de los meses de julio y agosto, originalmente nombrados en honor de dos césares

despóticos, serían sustituidos por el mes thermidor (termidor) (Gould, 1993: 324).

Hay otro aspecto que creemos necesario resaltar en este aparte y es el hecho de que la actividad científica no es obra de un hombre aislado, sino que el motor de la ciencia es precisamente su carácter colectivo. Si bien algunos textos privilegian la individualidad en la labor científica y encontramos declaraciones como la siguiente:

Esta teoría no es pues, como he oído decir, la teoría de los químicos franceses, es mi teoría, y es una propiedad que reclamo ante mis contemporáneos y para la posteridad (Lavoisier, citado por Bensaude-Vincent, 1998: 430).

Aunque esta frase fue pronunciada por el propio Lavoisier, también encontramos de su parte otro tipo de afirmaciones:

Los químicos se darán cuenta fácilmente de que en la primera parte de esta obra sólo me he servido de experimentos propios. Si alguna vez he utilizado las experiencias o las opiniones de Berthollet, Fourcroy, Laplace, Monge y de todos aquellos que, en general, adoptaron los mismos principios que yo, y haya olvidado citarlos, se debe a que la costumbre de vivir juntos, de comunicarnos nuestras ideas, nuestras observaciones, nuestros puntos de vista, ha establecido entre nosotros una especie de comunidad de opiniones, donde con frecuencia es difícil, incluso a nosotros mismos, distinguir lo que aportó cada uno (Lavoisier, 1982 [1789]: 17).

A nuestro modo de ver, la actividad científica se caracteriza más por la se-

gunda afirmación de Lavoisier, que por la primera.

Por último, queremos mencionar otro aspecto de la vida de Lavoisier, y es que no podemos separar su actividad como recaudador de impuestos de su actividad científica: cuando iba a una provincia para llevar a cabo su labor de asentista general, realizaba, además, conferencias sobre aspectos científicos en la Academia Local. Su trabajo estaba repartido en las diferentes facetas de su vida, pero al parecer el dinero que ganaba como recaudador lo invertía en parte para costear algunos de sus experimentos. De hecho, nunca pensó en abandonar los cargos que ocupaba y solo lo hizo cuando la Revolución suprimió las instituciones a las que pertenecía: La Academia y la Ferme Générale, instituciones que no solo habían sido creadas por el antiguo régimen, sino que habían sido desarrolladas por este.

Lavoisier tenía un horario muy estricto durante la semana, en el cual combinaba perfectamente todas sus labores: de 6 a 8 realizaba investigaciones científicas, a lo largo del día desempeñaba sus funciones administrativas y académicas, nuevamente hacía investigación de 19 a 22 y, además le dedicaba un día entero de la semana para la actividad científica, a este día le dio el nombre de *jour de bonheur* (día de felicidad) (Gould, 1993: 333).

Quisiéramos cerrar esta sección con la que quizá fue la última frase escrita de Lavoisier, momentos antes de su muerte. Dicha frase proviene de una carta que le escribió a un primo suyo:

He tenido una vida bastante larga, por encima de todo una vida muy feliz, y pienso que seré recordado con cierta pesadumbre y que quizá dejaré algu-

na reputación tras de mí. ¿Qué más puedo pedir? Los acontecimientos en los que me veo envuelto me salvarán probablemente de los problemas de la ancianidad. Moriré en plena posesión de mis facultades (Lavoisier, citado por Gould, 1993: 332).

### Reflexiones finales

Hemos desarrollado tres aspectos que consideramos de suma importancia para dar cuenta de un modelo de la historia de las ciencias, los cuales nos han permitido reconocer cómo se ha transformado el quehacer científico desde los siglos XVII y XVIII, cambio que está marcado por un proceso de diferenciación que ha posibilitado la emergencia de disciplinas autónomas como la química. De igual forma, hemos puesto de relieve las complejas e indisolubles relaciones entre ciencia y sociedad. Con respecto a la forma que en se da el cambio científico, hemos hecho una comparación de la revolución *lavoisieriana* con la Revolución Francesa, lo cual permite encontrar puntos de coincidencia entre las “revoluciones científicas” y las sociales.

No obstante, es de precisar que no asumimos del todo el concepto de revolución científica propuesto por Kuhn, ya que, por ejemplo, no consideramos la total inconmensurabilidad entre paradigmas rivales. Por ello, preferimos optar por la noción de ruptura epistemológica propuesta por algunos autores franceses. Asimismo, asumimos que tales rupturas no pueden ser totales, como lo afirma Canguilhem (2005: 32-33):

Conviene advertir, pues, como indispensable un buen uso de la recurrencia y una educación de la atención a las rupturas. A menudo el investigador de rupturas cree, a la manera

de Kant, que un saber científico se inaugura con una ruptura única, genial. A menudo también el efecto de ruptura es presentado como un efecto global que afecta la totalidad de una obra científica. Sin embargo, habría que saber detectar en la obra de un mismo personaje histórico rupturas sucesivas o rupturas parciales. Ciertos hilos de una trama teórica pueden ser completamente nuevos, mientras que otros han sido sacados de texturas antiguas. Las revoluciones copernicana y galileana no se hicieron sin conservación de herencias

Hechas estas necesarias aclaraciones, sintetizamos lo expuesto diciendo que las dimensiones de la historia de la

ciencia que hemos puesto de presente, pueden devenir en importantes implicaciones didácticas. Por ejemplo, es de esperar que este tipo de reflexiones posibilite a los maestros, en formación inicial o en ejercicio, repensar la manera en que conciben el cambio científico, y remirar las intrincadas relaciones ciencia-sociedad. Reconocer la dimensión histórica de las ciencias puede advertirnos acerca de las problemáticas, hipótesis, alianzas, controversias, negación de tradiciones, fundación de nuevos paradigmas, etc., aspectos muchas veces ausentes en los libros de texto, los programas de estudio y los currículos para la formación de profesores de ciencias. ▲

## Referencias

- Bensaude-Vincent, B. (1998). Lavoisier: una revolución química. En: Serres, M. (editor). *Historia de las ciencias*. Madrid: Cátedra.
- Canguilhem, G. (2005). [1988]. *Ideología y racionalidad en la historia de las ciencias de la vida. Nuevos estudios de historia y de filosofía de las ciencias*. Buenos Aires: Amorrortu.
- Estany, A. (1990). *Modelos de cambio científico*. Barcelona: Crítica.
- Giordan, A., Raichvarg, D., Drouin, J-M., Gagliardi, R., y Canay, A. M. (1988). *Conceptos de biología. Tomo 1: La respiración. Los microbios. El ecosistema. La neurona*. Barcelona: Labor.
- Gould, S. J. (1993). *"Brontosaurus" y la nalga del ministro. Reflexiones sobre historia natural*. Barcelona: Crítica.
- Lavoisier, A. L. (1956). [1783]. *Memorias sobre el oxígeno, el calórico y el flogisto*. Introducción y prólogo de Juan M. Muñoz. Buenos Aires: Emecé.
- Lavoisier, A. L. (1982). [1789]. *Tratado elemental de química*. Introducción, traducción y notas de Ramón Gago Bohórquez. Madrid: Ediciones Alfragua.
- Mosquera, C. J., Mora, W. M., y García, A. (2003). *Conceptos fundamentales de la química y su relación con el desarrollo profesional del profesorado*. Bogotá: Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Orozco, J. C. (1996). La dimensión histórico-filosófica y la enseñanza de las ciencias. En: *Física y Cultura, 2: Representaciones sobre la ciencia y el conocimiento*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Radl, E. (1988). *Historia de las teorías biológicas*. Tomo 1. Madrid: Alianza Editorial.
- Rossi, P. (1998). *El nacimiento de la ciencia moderna en Europa*. Barcelona: Crítica.



# Algunos puntos básicos en torno al darwinismo y el antidarwinismo, para tratar en un currículo de ciencias naturales

John Richard Jiménez Peñuela\*

Artículo recibido el 23-4-2007 y aprobado: 30-4-2008

## Some points around the darwinism and antidarwinism to deal in a natural science curriculum

Dedico este escrito a Rodrigo Torres y a Sally de Arias por iniciarme en la controversia de los orígenes

■ **Resumen:** A partir de su reflexión sobre la importancia de reconocer las visiones de mundo que los estudiantes presentan ante el origen de la vida, el autor comienza proponiendo algunos puntos que considera importantes en una clase de ciencias, para desarrollar el darwinismo en su interior, no como la imposición científica del maestro, sino como una visión más que puede convivir y respetar a las demás.

Estos puntos abordan al darwinismo en su etapa más temprana posible, pasan por sus modificaciones actuales, continúan con las objeciones hechas a la teoría alrededor de 1900, luego tratan la relación del darwinismo con la continua creación evolución y, por último, presentan una correspondencia entre darwinismo y sociología del conocimiento científico con el propósito de mejorar la contextualización de las ideas científicas alrededor del origen y desarrollo de la vida.

**Palabras claves:** Darwinismo, continuo creación-evolución, sociología del conocimiento, enseñanza de las ciencias.

■ **Abstract:** Based on the reflection about the importance of recognizing the students' beliefs regarding the origin of life, the author of this paper proposes certain important issues for a science class in order to develop the Darwinism inside the classroom as a point of view in which people and ideas are respected and taken into consideration, rather than as a scientific policy imposed by the teacher.

This paper approaches the Darwinism on its earlier stage, passing through its latest modifications and continues with the objections done to the theory around 1900, in order to establish the relationship between Darwinism and the ideas of creation and evolution. To conclude, a connection between darwinism and sociology of the scientific knowledge is shown, so that students can get contextualized scientific ideas about origin and development of life.

**Key Words:** Darwinism, creation-evolution continuum, sociology of knowledge, science education.

\* Docente de Ciencias Naturales. eyethfilms@hotmail.com.



### Introducción

Desde su aparición hace más de un siglo, la teoría de evolución por selección natural, propuesta por Charles Darwin y Alfred Russell Wallace, ha venido a ser el hilo conductor de la biología moderna, convirtiéndola en un aspecto ineludible a la hora de trazar un currículo de ciencias naturales. Sin embargo, es posible que se desarrolle como un simple tema de la clase, desconociendo el proceso que llevó a Darwin (porque Wallace está ausente), a la construcción de su teoría, a los autores e ideas que accedió, así como a las experiencias investigativas que llevó a cabo y las relaciones que tuvo con otras personas propias y ajenas al campo científico. Aún menos se indaga sobre las teorías alternas y antidarwinianas anteriores, contemporáneas y posteriores al nacimiento de esta forma de evolucionismo. Examinar estas teorías y concepciones sobre el origen y desarrollo de la vida permite acercarse desde lo pedagógico al tipo de conocimiento y aceptación que la sociedad expresa hacia la teoría de la evolución, realizando una retroalimentación en la que el estudiante, como sujeto principal de la enseñanza, puede defender, rechazar, discutir o aceptar todos o algunos de los ejes principales de las teorías darwinistas, antidarwinistas e incluso de concepciones no científicas al respecto. En este escrito se presentan algunos puntos básicos que podrían orientar el desarrollo de un currículo de ciencias, abierto al debate sobre el origen de lo vivo, respetuoso del pensamiento del estudiante al respecto, favoreciéndolos en su construcción, alejándose de la simple imposición científica de los sabios.

### Darwinismo elemental y sus modificaciones recientes

(Wilkins, 1998; Huxley, 1985; Hanes 2003)

Un punto primordial e ineludible al realizar una exposición del darwinismo es que este actúa como teoría unificadora, dado que otros autores habían expuesto uno u otro de sus elementos integrantes (Huxley, 1985). En este aparte se realiza una muy breve explicación de las teorías o postulados más importantes con sus principales exponentes, en los que Darwin se basó, esto con el ánimo de presentar un darwinismo lo más cercano posible a su primer autor.

*Evolución:* el mundo no es constante ni ha sido creado recientemente; está en cambio constante. Aun los organismos vivos se transforman con el tiempo. Este era un pensamiento muy común en la época de la Inglaterra victoriana.

*Descendencia con modificación:* cada grupo de organismos desciende de un ancestro común; a su vez, todos los grupos vivientes se remontan a un mismo origen, a un prototipo desconocido. Esto es análogo a un gran árbol cuyas ramas poseen bifurcaciones en diferentes sentidos (ancestros comunes) y brotes (especies modernas). De acuerdo con el darwinismo actual, el 99% de las ramas se ha extinguido.

*Gradualismo y uniformitarismo:* los cambios que se dan en una especie son graduales y no repentinos (saltacionismo). El cambio es el resultado acumulativo de procesos lentos pero continuos (Hutton). Estos procesos que moldearon el planeta en el pasado son los mismos que lo moldean hoy (Lyell).

*Registro fósil:* existe una sucesión de fósiles transicionales, que vinculan especies modernas con sus formas ancestrales (*Lamarck*).

*Biogeografía:* las especies de islas cercanas entre sí o próximas a un continente son muy similares. Esto se atribuye a un antepasado común, que debido al aislamiento geográfico dio origen a nuevas especies. Tal postulado es lo opuesto a la creación particular de cada especie.

*Anatomía comparada:* las especies agrupadas en la misma categoría taxonómica presentan similitudes anatómicas entre sí (homología). Por ejemplo, todos los mamíferos poseen un patrón de esqueleto básico común (*Cuvier*).

*Embriología comparada:* los animales revelan etapas de desarrollo embrionario similares que señalan órganos usados en algún momento de su evolución, como las hendiduras branquiales presentes en los embriones de los vertebrados (*Haeckel*).

*Selección sexual:* el individuo con mayor atractivo sexual tiene mayores posibilidades de reproducirse y, por consiguiente, de dejar descendencia.

*Selección natural (SN) o supervivencia de los más aptos:* en el *Origen de las Especies* se explica como: la “preservación de diferencias y variaciones individuales favorables y la destrucción de las perjudiciales”, y “las variaciones que no son ni útiles ni dañosas no serían afectadas por la SN y quedarían como un elemento fluctuante”. Este principio puede evidenciarse en una población que aumenta exponencialmente en tamaño y, por consiguiente, sus recursos comienzan

a escasear (*Malthus*). Entonces, solo una fracción de la descendencia sobrevive, en medio de una lucha por los recursos limitados. Por ello, los individuos varían dentro de la población, heredando gran parte de los cambios a la próxima generación. Luego, quienes heredan características que los adaptan mejor al medio tienen probabilidades más altas de dejar una mayor descendencia. A su vez, esta reproducción desigual genera una acumulación de características favorables y un cambio gradual (evolución) en la población. Quizás este sea el pensamiento de más peso en el darwinismo original.

Entonces, para la aceptación, rechazo o expresión de cualquier opinión intermedia con respecto al darwinismo es significativo conocer a cuál o cuáles de los postulados se refiere. Porque no es viable afirmar que la teoría darwinista se rechaza en su totalidad, porque hay desacuerdo en solo uno o algunos de sus aspectos, como podrían serlo la embriología o la biogeografía. De igual forma, es pertinente conocer qué argumentos de estos pueden estar involucrados a favor de otros tipos de teoría, como puede ocurrir en las de corte creacionista. Desconocerlo impide realizar análisis objetivos de los diferentes darwinismos que han surgido, y surgirán, así como de las otras explicaciones ligadas al origen y transformación de lo vivo en el tiempo. Teniendo en cuenta lo anterior, a continuación se exponen algunas de las teorías posdarwinianas más relevantes, enfatizando en las reformas y énfasis propuestos:

Fechas	Etapas	Modificación
1883-1886	Neodarwinismo de Weismann	Marca el fin de la herencia débil; reconoce la diploidía y la recombinación genética. De igual forma se establece la existencia de un germen plasmático, una sustancia especial que posibilita la herencia y constituye la única continuidad orgánica entre una generación y la siguiente.
1900	Mendelismo	La constancia genética es aceptada y la mezcla de herencias, refutada. Décadas después se descubre que la sustancia en la que está contenida los caracteres heredables son los genes.
1918-1933	Fisherismo	La evolución es materia de frecuencias genéticas y la fuerza de pequeñas y uniformes presiones de selección. Entre los genes no existe una tendencia propia a desaparecer del conjunto de genes. Si lo hacen es debido a procesos fortuitos o a la selección natural.
1936-1947	Síntesis	El énfasis mayor está en la población. También hay interés por la evolución de la diversidad, la especiación geográfica y las tasas de variabilidad evolutiva.
1947-1972	Pos-síntesis	Cada vez más el individuo es visto como el blanco de la selección natural; se da un acercamiento más holístico y un mayor reconocimiento al azar y a las limitantes.
1954-1972	Equilibrio punteado	Es de importancia para la evolución especiativa.
1969-1980	Redescubrimiento de la importancia de la selección sexual	Para la selección son de importancia los procesos reproductivos.

**Tabla 1.** Etapas importantes en la modificación del darwinismo (modificado de Hanes, 2003).

### Objeciones antidarwinistas alrededor de 1900

Bowler (1985) propone seis argumentos que las teorías antidarwinistas inmediatamente posteriores a la publicación de *El Origen de las Especies* propusieron como vacíos en el darwinismo. En esta exposición se citan porque estos argumentos pueden presentarse en las formas de antidarwinismo actuales, por supuesto, con algunas ampliaciones o modificaciones. A continuación se presenta un esbozo de estos:

1. La discontinuidad del registro fósil que en un principio surgió en contra de cualquier desarrollo continuo. Los vacíos en este registro eran atribuidos a una creación milagrosa o como producto de saltos súbitos en el pro-

ceso de la evolución (saltacionismo o teoría de la mutación).

2. La edad de la Tierra, que según los cálculos de lord Kelvin requeriría un tiempo de mayor existencia para que se desarrollara la evolución.
3. Existencia de estructuras no adaptativas, sin valor aparente en la lucha por la existencia. La ontogénesis y el saltacionismo podían explicarlas.
4. Regularidades artificiales en algunos mecanismos evolucionistas. Por ejemplo, los ojos de un calamar y de un mamífero son tan similares que no pudieron surgir por mero azar de la SN. Para muchos, la evidencia de un plan divino.
5. La afirmación de que la SN no es una fuerza creativa. Darwin no explicó

la variación que distingue a un individuo de otro. Pero demostró que puede ocurrir en muchas direcciones, de las cuales la mayoría no tiene valor adaptativo para la especie. Por esto, algunos afirmaron que la SN no podía ser un mecanismo de evolución válido. Entonces, si no son las fuentes materiales las que dirigen el proceso, deben serlo las causas espirituales.

6. Herencia mezclada. Antes de Mendel se juzgaba que los hijos eran producto de la mezcla completa de los caracteres paternos y maternos. Por esto, la aparición de un nuevo rasgo producto de una forma mutante se diluiría en la siguiente generación. Además, esa gama de variaciones poseía un límite normal.

### Darwinismo y el continuo creación-evolución

Para aquel que quiera trabajar a Darwin en clase de una forma que involucre a sus estudiantes y sus opiniones y no a través del adoctrinamiento científico que restringe esta posibilidad, es fundamental conocer que más allá de un darwinismo o un antidarwinismo, existe gran variedad de ambos y, por tanto, no puede considerarse que el uno es blanco-bueno y el otro, negro-malo, o viceversa. La gama es tan variada que además de los tonos grises es necesario abrirse a las restantes tonalidades del espectro de los colores. En relación con lo anterior, hay que tener en cuenta la variedad de religiones y creencias que coexisten en el país, las cuales tienen puntos de vista que deben ser respetados, aunque esto no indica que el debate sea ignorado, pero sí desarrollado en un ambiente de tolerancia y respeto. En este ámbito, la clasificación de Isaac (2000) ejemplifica

la gran variedad de creencias científicas, pseudocientíficas y religiosas que se dan en el continuo de la creación-evolución, en las cuales pueden morar los darwinismos y antidarwinismos, con formas muy variadas, y énfasis filosóficos y religiosos profundos, algunas exhibiendo límites casi imperceptibles. A juicio del autor, son los modelos más relevantes para abordar y discutir en clase:

#### Creación

- Tierra plana
  - Geocentrismo
  - Tierra joven creacionista
  - Omphalos
  - Tierra vieja de los creacionistas
  - Hueco creacionista
  - Día-edad creacionista
  - Creacionismo progresivo
  - El plan inteligente del creacionismo
  - Creacionistas evolucionistas
  - Evolucionistas teístas
  - Materialista metodológico evolucionista
  - Materialista filosófico evolucionista
- #### Evolución

Figura 1. El Continuo Creación-Evolución.

*La Tierra joven de los creacionistas:* Son probablemente la rama más influyente del creacionismo actual, se basan en una interpretación literal de la Biblia, por lo cual la Tierra posee una edad de 6.000 a 10.000 años, y todas las cosas vivas fueron creadas en seis días. Por la desobediencia de Adán y Eva entraron la muerte y la desgracia al mundo y más adelante, por el pecado de las personas, la destrucción de la mayoría de géneros animales durante el Diluvio Universal. Además, la geología es interpretada a la luz del Diluvio de Noé. A diferencia del estricto creacionismo de la Flat Earth Society (Sociedad de la Tierra Plana), aceptan la esfericidad de la Tierra y el

heliocentrismo. En algunos casos, proponen un modelo alternativo al árbol de la vida darwiniano, sugiriendo un bosque con árboles abundantes, que corresponden a los géneros sobrevivientes al Diluvio Universal, con ramas y bifurcaciones que son las especies que se han desarrollado hasta el momento. Algunos de estos cambios se explican mediante postulados darwinistas.

*Omphalos*: parte del argumento de que el universo fue creado con apariencia de edad. Uno de sus argumentos es que Adán fue creado adulto, con ombligo; no nació. El nombre de esta idea debe su nombre al libro escrito por Philip Henry Gosse en 1857, quizás el primero en desarrollar esta idea.

*Día-edad creacionista*: alejándose de la interpretación literal, cada día de la creación es visto como un largo período de miles o millones de años. Existe un paralelo entre el orden de eventos presentado en Génesis 1 y el aceptado por la corriente principal de la ciencia actual.

*El plan inteligente del creacionismo*: según William Paley, el Diseño de Dios se observa en la vida. Los argumentos actuales que sustentan esta idea son más técnicos, apoyados en ciencias como la microbiología y las matemáticas. Diferentes corrientes creacionistas se comparan con este pensamiento y observan las creencias relacionadas con evolución como materialismo filosófico.

*Evolucionistas teístas*: Dios realizó su creación mediante el proceso evolutivo y por supuesto interviene en él. Sin embargo, el alma está fuera del alcance de la ciencia.

*Materialista metodológico evolucionista*: no existe dios alguno que intervenga en el proceso evolutivo. Sin embargo, no

es necesariamente atea, ya que, por ejemplo, creen que Dios creó la evolución. En la evolución materialista pueden encontrarse dos ramas: el materialismo metodológico y el materialismo filosófico. El materialismo metodológico se limita a describir el mundo natural con sus causas naturales; no afirma ni niega la existencia de causas sobrenaturales, ni su influencia sobre la vida.

*Materialista filosófico evolucionista*: desconoce cualquier tipo de causa sobrenatural o divina; además, considera que la evolución no solo es un proceso natural, sino que también opera en los demás procesos, que parten de causas naturales explicables.

Por supuesto, existen posiciones alejadas de este continuo, como la *Panspermia*, que sostiene que la vida primitiva, llegó a la Tierra desde otros sistemas estelares, en forma de bacterias o microbios, a partir de los cuales evolucionaron otras formas de vida. También está la *evolución catastrofista*, que como su nombre lo indica, la evolución ocurrió repentinamente, guiada por catástrofes extremas, a lo ancho del planeta.

### **Darwinismo y sociología del conocimiento científico, SCC**

Si uno de los objetos en los procesos pedagógicos es respetar las cosmovisiones de cada estudiante, se necesita asumir una visión holística de la ciencia a través de observar el ámbito social e histórico en los cuales se desarrolló el darwinismo y cómo han surgido esas otras formas de ver los orígenes de la vida. Por esta razón se proponen cuatro principios de la SCC, que pueden permitir una mejor contextualización de estas ideas (Restrepo, 2002):

*Causalidad:* establecer las condiciones que dan lugar a una creencia o los estados del conocimiento científico. En el caso del darwinismo, observar que hubo un ambiente abierto a ideas evolucionistas, que “abonaron el campo” para la recepción del darwinismo, por lo menos en lo que a biología e historia natural se refiere. Es posible que el darwinismo alcanzara reputación debido a que sus éxitos obtuvieron mayor publicidad que las objeciones y no porque fuera capaz de superarlas.

*Imparcialidad:* el darwinismo no es la verdad absoluta; en ciencias se opta por no trabajar con verdades absolutas. Aún así, si se considera al darwinismo como la teoría en boga (la verdad del momento), ¿cuáles son las teorías equivocadas? ¿Qué es ser un antidarwinista y qué clase de antidarwinismo puede seguirse? ¿Por qué el darwinismo triunfó?

*Simetría:* las mismas causas para explicar creencias verdaderas y falsas. Las mismas causas para explicar el avance del darwinismo y el retroceso de teorías, como las lamarckistas.

*Reflexividad:* sus patrones de explicación serán aplicables a la sociología misma. Se cumple a los estudios sociales sobre darwinismo como de cualquier otro tema relacionado con la ciencia. Es un principio importante para aplicar, conociendo que, por ejemplo, en Colombia el darwinismo era debatido fervientemente en “los cursos de historia, geografía, filosofía moral, biología,

psicología y sociología”, tanto así que en la década de 1890 las escuelas y universidades dirigidas por clérigos discutían este pensamiento, aunque sin divorciarlo de la sociología y las ciencias naturales.

### **Conclusiones**

Es posible que muchas de las visiones alternas al darwinismo, similares a las que se presentaron en este escrito, se den cita en un contexto pedagógico, por lo cual el docente está obligado a actuar como mediador de estas visiones, sin imponer su visión preferida, aunque sin dejar de negociar y exponer en forma amplia la visión dominante de la ciencia actual a nivel global y local, pues es su responsabilidad como docente de ciencias.

Además, darwinismo, antidarwinismo y teorías alternas al origen de la vida son entes cambiantes, por lo cual el maestro de ciencias estará actualizado acerca de las transformaciones que se dan, retrocesos a sus formas primeras, o de los cambios sustanciales de fondo, sobre estas teorías.

Por esta razón, desarrollar un estudio “impregnado” de SCC permite una comprensión más global acerca de los procesos que llevaron a la formulación de estas teorías, así como la comprensión de otras ideas referentes al origen de la vida, para lograr un trabajo más completo en clase, sin que esto indique abandonar el objeto de las ciencias naturales. ▀

### Referencias

- Bowler, Peter. (1985). *El Eclipse del darwinismo*. Barcelona: Labor Universitaria, p. 32-34
- Hanes, Joel. (2003). What is Darwinism? En: [http://wps.prenhall.com/esm\\_freeman\\_evol\\_4/75/19387/4963122.cw/index.html](http://wps.prenhall.com/esm_freeman_evol_4/75/19387/4963122.cw/index.html).
- Huxley, Julian. (1985). *Darwin*. Barcelona: Salvat Editores, S.A.
- Isaac, Mark. (2000). What is Creationism? En: [www.talkorigins.org/faqs/wic.html](http://www.talkorigins.org/faqs/wic.html).
- Restrepo, Olga. (2002, 5, 6 y 7 de noviembre). Audio del Curso: Sociología del Conocimiento Científico. Centro de Pedagogía y Didáctica de la Biología, las Ciencias Naturales y la Educación Ambiental. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Restrepo, Olga. (2002). Leyendo Historias sobre el Darwinismo. En: *Evolucionismo y Cultura: Darwinismo en Europa e Iberoamérica*. México: Junta Extremadura-UNAM Ediciones Doce Calles.
- Wilkins, John. (1998). So You Want to be an Anti-Darwinian Varieties of Opposition to Darwinism. En: [www.talkorigins.org/faqs/anti-darwin.html](http://www.talkorigins.org/faqs/anti-darwin.html).



# La enseñanza de la química desde el modelo integrado de aprendizaje profundo, MIAP. Fortalezas y debilidades<sup>1</sup>

Johanna Patricia Camacho González<sup>2</sup>

Artículo recibido: 30-3-2007 y aprobado: 30-4-2008

**Science teaching through integrated model of deep learning, IMDL. Strengths and weaknesses**

■ **Resumen:** En este análisis crítico del Modelo Integrado de Aprendizaje Profundo, MIAP, se presentan algunos fundamentos teóricos del modelo, a partir de lo trabajado por el equipo de la Facultad de Educación de la Universidad Católica de Chile. Posteriormente, se reconocen algunas fortalezas y debilidades para la enseñanza de la química y se presentan algunos aspectos que pueden considerarse con el fin de mejorar las prácticas educativas de los profesores de química de enseñanza básica y media.

**Palabras clave:** Enseñanza de la química, MIAP, aprendizaje profundo, prácticas educativas, profesores.

■ **Abstract:** In this critical analysis of the Integrated Model of Deep Learning IMDL, some theoretical foundations of the model appear as the product of the study carried out by a teachers' team from the Education Faculty at Pontificia Católica University of Chile. Then, some strengths and weaknesses are recognized regarding chemistry teaching and some aspects that can be considered as the ones that can improve educational practices are presented by elementary and secondary school teachers.

**Key words:** Chemistry teaching, IMDL, Deep learning, educative practices, sciences teachers.

<sup>1</sup> Trabajo financiado por la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología de Chile CONICYT

<sup>2</sup> Doctorante en Ciencias de la Educación. Pontificia Universidad Católica de Chile. [jpcamach@uc.cl](mailto:jpcamach@uc.cl)

### **Introducción**

Actualmente en el contexto de educación, se percibe la necesidad de una enseñanza centrada en los procesos cognitivos que permita que los estudiantes se apropien y sepan utilizar eficazmente los conocimientos adquiridos en la escuela. En el caso específico de la educación científica, se concibe que el aprendizaje de las ciencias, “es irse apropiando de los lenguajes de las ciencias que constituyen la cultura científica, construidos a lo largo de los siglos [...] aprender el lenguaje científico es pensar, hablar, escribir y leer” (Sanmartí e Izquierdo, 1998: 183). Es decir, que la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias deben proporcionar elementos que permitan que los estudiantes se apropien del conocimiento enseñado/aprendido en las aulas de clase, para que interactúen de manera propositiva en determinadas situaciones y tomen decisiones respecto a las diversas problemáticas que se plantean en un mundo como el actual.

La enseñanza de las ciencias en general, de la química en particular, se ha caracterizado por la poca coherencia que existe entre las prácticas docentes y los objetivos de la formación de ciudadanos que construyan, discutan, propongan, consensúen explicaciones sobre el mundo a partir de los conocimientos científicos enseñados. Se observa que las prácticas educativas están guiadas aún por la transmisión de una gran cantidad de conocimientos de manera poco reflexiva, que además de no promover la comprensión de conceptos y temáticas fundamentales de la ciencia, instaura una visión de ciencia distinta a la concepción de actividad humana, aspectos

que poco contribuyen a la formación de ciudadanos con pensamiento de buena calidad (Beas, 1994) que sean capaces de desenvolverse en el mundo actual gracias al conocimiento científico que se les enseña en la escuela.

¿Cómo contribuir para que las prácticas de los profesores de química en la enseñanza básica y media sean coherentes con el propósito de formar ciudadanos críticos que comprendan y utilicen efectivamente el conocimiento científico enseñado en la escuela? En este artículo se pretende abordar dicho interrogante desde una opción, el Modelo Integrado de Aprendizaje Profundo, MIAP, que tiene el propósito de promover habilidades que permitan la comprensión de los conocimientos que se desarrollan en el aula (Beas; Santa Cruz; Thomsen y Utreras, 2000). Además, se contemplan algunos aspectos desde la Didáctica de las Ciencias, con el fin de proporcionar elementos que contribuyan a la práctica docente de los profesores de química en los niveles de enseñanza básica secundaria y media.

### **Crisis en la enseñanza de la química**

La incorporación de la química en los niveles escolares de enseñanza básica y media tiene el propósito de proporcionar a los futuros ciudadanos adultos los elementos básicos, para que sean capaces de entender la realidad que les rodea y puedan comprender el papel de la ciencia en nuestra sociedad. Como afirma Campanario (1999), este primer contacto con la ciencia debería contribuir a que los estudiantes desarrollen ideas adecuadas sobre la ciencia y el conocimiento científico y a que apliquen hábitos propios del pensamiento

y razonamiento científico en su vida cotidiana.

No obstante, en la enseñanza de la química como lo señala Izquierdo (2004), se ha evidenciado en los últimos años una crisis, que se manifiesta en las opiniones desfavorables de quienes que, ya mayores, recuerdan la química como algo incomprensible y aborrecible; en la falta de alumnos que desean tener cursos optativos de esta área y en la disminución de estudiantes que escogen la química como carrera profesional. Se establecen como dos posibles causas de esta crisis, especialmente la enseñanza desde una perspectiva demasiado dogmática, alejada de las finalidades y valores de los estudiantes y en segundo lugar, que quizás la enseñanza de la química se ha visto sólo desde la perspectiva de la enseñanza de ideas teóricas sin explicar suficientemente a qué tipo de intervención se refieren, por lo que la práctica docente se convierte en un ejercicio irracional estableciendo para los estudiantes conocimientos que no son comprendidos ni útiles. Esta crisis, también se ve manifestada en las afirmaciones de los profesores de química, quienes han señalado que la enseñanza de esta ciencia se caracteriza por la dificultad en aplicar los conocimientos y que usualmente, los estudiantes creen que no les sirve para explicar el mundo en el que viven.

Esta situación ha sido abordada por varios investigadores quienes coinciden en afirmar la poca formación del profesorado en áreas como la epistemología e historia de la ciencia y a partir de esto, han propuesto directrices para incorporar estas metaciencias en los programas de Formación de Profesores en Ciencias

(Matthews, 1994; Quintanilla, Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2005; Adúriz Bravo, 2005; Adúriz-Bravo., Izquierdo y Estany, 2002).

Sin embargo, se encuentran pocas referencias de la literatura especializada que hagan alusión a la incorporación de estas metaciencias a partir de modelos pedagógicos de enseñanza y aprendizaje, en la práctica docente de profesores en servicio activo. A continuación, se describen aspectos que permiten considerar el Modelo Integrado de Aprendizaje Profundo, MIAP, como posible opción para abordar ciertos elementos de la crisis mencionada anteriormente.

### **Modelo Integrado de Aprendizaje Profundo, MIAP**

Este modelo surge con el objetivo de presentar algunas estrategias que faciliten la enseñanza explícita de destrezas del pensamiento, con la finalidad que los estudiantes aprendan a comprender, profundizar y extender sus conocimientos, de tal manera que se mejore el pensamiento, como un medio para que el sujeto se capacite para aprender de una forma más profunda y significativa (Beas; Santa Cruz; Thomsen y Utreras, 2000).

Bajo este enfoque cognitivista, se considera que el aprendizaje es un proceso de construcción de conocimientos por parte del aprendiz, dependiente del conocimiento previo y determinado por el contexto o la situación en la que se produce. De tal manera, que se toma como punto de partida la diferencia que existe entre el aprendizaje logrado por sí mismo y el que alcanza a través del apoyo planificado y cuidadoso del mediador, en este caso el profesor.

### **Concepto de aprendizaje profundo**

Desde la propuesta de Enseñanza para la comprensión EpC, del Proyecto Zero de la Universidad de Harvard, se contemplan algunos aspectos que pueden ser relevantes para el MIAP. Sin embargo, existe distinción entre el concepto de comprensión de Gardner y Perkins que hace alusión a la “*capacidad de desempeño flexible*” (Perkins, 1999) y el concepto de comprensión profunda del MIAP que está relacionado con el dominio, la transformación y utilización del conocimiento para resolver problemas reales “*Se demuestra un aprendizaje profundo cuando se tiene la capacidad de realizar una variedad de acciones mentales con un tópico*” (Beas, Santa Cruz, Thomsen y Utreras, 2000, p. 24).

### **Aspectos teóricos del MIAP. Fortalezas y debilidades para la enseñanza de la química**

Este modelo de enseñanza aprendizaje, se origina en la integración de resultados obtenidos en diversos trabajos de contrastación, realizados por el equipo investigador de la Facultad de Ciencias de la Educación de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Los componentes teóricos del MIAP se sustentan y articulan desde las siguientes propuestas: a) Dimensiones de aprendizaje, de Marzano *et ál.* (1992) y b) Modelo de la infusión del pensamiento, de Swartz y Perkins (1989).

### **Dimensiones del Aprendizaje**

La propuesta de Marzano *et ál.* (1992), establece cinco dimensiones, para abordar el aprendizaje como un sistema complejo de procesos de interacción. Cada una de estas dimensiones actúan como hilo conductor del acto aprender y facilitan una visión holística del apren-

dizaje (Beas; Santa Cruz; Thomsen y Utreras, 2000).

### **Actitudes y percepciones positivas sobre el aprendizaje**

Esta dimensión hace alusión a los aspectos relacionados con el ambiente afectivo, los cuales pueden facilitar o inhibir el aprendizaje. Es decir, se hace necesario crear un ambiente o clima, en donde el estudiante se sienta cómodo consigo mismo, con sus compañeros, con el profesor y con las tareas del aula. Para ello, se debe dar importancia a sus actitudes y percepciones y establecer estrategias concretas que favorezcan el ambiente de trabajo. En esta dimensión es importante señalar, que los profesores de química en general, poco reconocen los intereses de los estudiantes y el contexto donde se desenvuelven, muchas veces tienen más afán en desarrollar las temáticas propuestas en los currículos, que conocer y atender los intereses y las necesidades de los estudiantes. “Cuando profesores y estudiantes lleguen a dar los mismos pasos metodológicos y hablar el mismo lenguaje en los procesos de enseñanza aprendizaje de las ciencias, el ambiente de aprendizaje mejorará” (Duschl, 1997). Actividades que se desarrollen en un contexto más social y cultural, donde participen activamente los estudiantes, puede promover climas más agradables. Por ejemplo, leer y discutir en grupo las noticias del diario, donde se aborden situaciones que estén relacionadas con una temática específica de la química y su aplicación en un contexto cotidiano.

### **Adquisición e integración del conocimiento**

En esta dimensión, Marzano *et ál.* (1992), distinguen dos clases de conocimientos, el declarativo, que se refiere a la cons-

trucción de significados vinculando conocimientos previos y el conocimiento procedimental, que hace referencia a las acciones que debe ejecutar. Estos dos tipos de conocimiento son presentados en el texto de Marzano *et ál.* (1992) de manera independiente por considerar que se aprenden de diferente forma. Sin embargo, en los procesos de enseñanza aprendizaje de la química, existe consenso en asumir que la construcción de significados, se puede elaborar a partir de la representación de modelos teóricos que permitan dar cuenta del conocimiento científico (Izquierdo, 2004; Izquierdo, Vallverdú, Quintanilla y Merino, 2006; Justí, 2006) por lo que desde esta perspectiva se considera que esta dimensión se debe abordar de manera integrada y las operaciones mentales y actividades específicas, dependerán de la naturaleza del contenido que se va a enseñar (Beas; Santa Cruz; Thomsen y Utreras, 2000). Desde la propuesta del MIAP, se incorpora además el conocimiento actitudinal, que es bastante relevante a la hora de adquirir e integrar conocimiento en química, en vista que puede favorecer a considerar esta ciencia desde una perspectiva humana y de esta manera puede promover actitudes favorables para el aprendizaje de la química.

En cada uno de estos tipos de conocimiento, se considera la organización e integración entre los conocimientos nuevos y los conocimientos previos, esta integración debe perdurar a largo plazo. No obstante, también es importante señalar que el aprendizaje es un proceso dinámico y que las estructuras conceptuales son factibles de reelaborar y que desde esta perspectiva, el aprendi-

zaje puede perdurar, pero además puede estar en constante reconstrucción.

***Destrezas del pensamiento involucradas en la profundización y extensión del conocimiento adquirido***

La adquisición e integración del conocimiento no son suficientes para el aprendizaje profundo, desde la propuesta de Marzano *et ál.* (1992) se establece además la profundización y el refinamiento del conocimiento, para esto es necesario que el estudiante aprenda a manejar destrezas intelectuales de nivel superior y que los conocimientos que fueron abordados en la segunda dimensión se relacionen a través de redes de significados con situaciones específicas de los diferentes campos del saber y/o de la vida cotidiana. Esta dimensión hace referencia a la enseñanza explícita de destrezas de pensamiento, pero contempla además su relación con un contenido específico. Es decir, destrezas intelectuales infundidas con los contenidos, permiten mejorar la calidad del aprendizaje de los contenidos curriculares. El propósito de enseñar estas habilidades adquiere sentido en cuanto se transforman en herramientas de profundización del conocimiento.

En la enseñanza de la química, se reconoce la importancia que tienen el profesor y la capacidad que debe tener para seleccionar, secuenciar y llevar a la práctica clases de ciencias cuya programación refleje priorización de los contenidos científicos, objeto de conocimiento y enseñanza (Duschl, 1997). Desde esta perspectiva, los profesores de química, deben además de saber cuáles son los contenidos más importantes de su disciplina, proponer actividades

que permitan pensar sobre la química como ciencia de la naturaleza, su campo disciplinar, sus relaciones con otras ciencias de la naturaleza (física, biología, geología, entre otras), su relación con diferentes contextos (culturales, sociales, cotidianos). Para ello, deben primero recocer cada una de estas destrezas, conocer en qué consisten y establecer estrategias que permitan relacionarlas eficazmente con las temáticas abordadas. Algunas actividades que pueden contribuir a la profundización y refinamiento del conocimiento en química, puede ser a través de la formulación de preguntas, que como lo plantea Márquez (2006), promueve la elaboración de explicaciones que deben ser coherentes con los marcos teóricos, se sugieren preguntas abiertas, centradas en las personas y no en los contenidos eg. ¿Por qué crees que ocurrió eso? Esta actividad además, puede relacionar destrezas específicas, relacionadas con la temática a abordar, como las que propone Marzano *et ál* (1992), (comparación, clasificación, inducción, deducción, análisis de errores, abstracción, análisis de diferentes perspectivas).

Además, de este tipo de destrezas sugeridas con el propósito de profundizar y extender el conocimiento, se pueden incorporar otras relacionadas con la explicación científica, las cuales no se mencionan en el MIAP. Estas destrezas se consideran desde lo que plantea Sanmartí e Izquierdo (1998), aprender química implica comprender y utilizar el lenguaje propio de la química, para ello se debe leer, escribir y hablar, por lo que se sugiere incorporar actividades que fomenten la descripción, justificación y argumentación, que le permitirán a los

estudiantes desarrollar sus destrezas intelectuales a través del contenido científico.

#### *Uso significativo del conocimiento*

La adquisición de conocimiento se hace con el fin de usarlo en forma significativa. Esta dimensión, encierra el propósito de la educación científica y da sentido a la enseñanza de la química, pregunta que los estudiantes hacen constantemente ¿esto para qué me sirve? En esta dimensión, el papel del profesor es central, es importante que relacione los conocimientos científicos a enseñar con contextos familiares para el estudiante. Por ejemplo, a partir de la historia de la química, donde se evidencia como se iban construyendo las diferentes teorías químicas, con el propósito de solucionar problemas, tomar decisiones y cómo durante este proceso se hace notable la elección de instrumentos, la invención de lenguajes (símbolos, nomenclatura) que permitía construir conceptos para explicar los fenómenos estudiados.

Desde esta dimensión, se propone que el profesor desarrolle actividades en conjunto con sus estudiantes, donde se evalúen los conocimientos que se están trabajando y que se evidencia su importancia y sentido en la vida cotidiana, en la preparación para su profesión universitaria o en la toma de decisiones como ciudadano. Para ello, Marzano *et ál.* (1992), establecen la enseñanza explícita de actividades como la solución de problemas, la toma de decisiones, la investigación, la invención y la indagación experimental, visto como lo propone Beas, Santa Cruz, Thomsen y Utreras (2000), se pueden considerar macro procesos, porque pueden impli-

car e integrar varios de estos procesos, ya que contemplarán de acuerdo con la situación específica que se vaya a abordar.

#### ***El aprendizaje de hábitos mentales productivos***

La quinta dimensión de Marzano *et al* (1992), hace referencia al desarrollo de los hábitos que fomenten el pensamiento de buena calidad. La enseñanza del pensamiento es una tarea que se ha hecho manifiesta en las prácticas educativas, bien sea de manera implícita o explícita. Como se mencionó en la introducción, existe acuerdo en que la educación debe tener como uno de sus propósitos la formación de ciudadanos críticos que puedan interactuar en el mundo a partir de lo que se enseña en la escuela. Desde la propuesta de Beas (1994), se afirma que el pensamiento de buena calidad debe tener las siguientes tres características: a) Crítico, que se refiere a un pensamiento razonable y reflexivo que se centre en aquello que decidimos creer o hacer (Norris y Ennis, 1989, citado en Beas, 1994); b) Creativo, que concierne a la generación o combinación de ideas de una forma original eficiente, fluida y flexible, que generalmente involucre una producción (Perkins y Stewart, 1989) y e) Metacognitivo: como una clase superordenada de pensamiento que concierne la reflexión y conocimiento del propio pensamiento (Perkins y Stewart, 1989). Esta quinta dimensión, se considera como un eje transversal en las dimensiones anteriores, ya que sí el objetivo es contribuir a la formación de ciudadanos críticos, creativos y metacognitivos a partir de la enseñanza de la química, estos aspectos se deben considerar en cada

una de las dimensiones mencionadas anteriormente.

Las dimensiones anteriores, se presentan de manera lineal y consecutiva. Sin embargo, es necesario evaluar de qué manera se pueden integrar y cómo a la luz de las temáticas y los propósitos a enseñar, se pueden planificar actividades que promuevan cada una de las dimensiones anteriormente mencionadas.

#### ***Infusión del pensamiento***

Este aspecto teórico, corresponde a la propuesta de Swartz y Perkins (1989) en relación con el énfasis en el aprendizaje de las destrezas intelectuales a través de los contenidos escolares. Algunas experiencias a partir de los programas para enseñar a pensar, señalan cuatro aspectos importantes a considerar.

#### ***El pensamiento debe ser enseñado en forma explícita***

En este aspecto, se reconoce la importancia que tiene la enseñanza explícita de las destrezas intelectuales para conseguir un pensamiento de buena calidad. Es necesario, primero que los profesores reconozcan a qué se refiere cada una de las destrezas y luego planificar actividades que permitan relacionarlas con los contenidos, particularmente de química, para la enseñanza en educación básica secundaria y media. La enseñanza explícita, consiste en la definición de la habilidad que se pretende promover y los pasos que se deben desarrollar para lograrla. Esta secuencia, es un poco lineal, paso por paso, por ello se sugiere que el profesor sea capaz de planificar y establecer estrategias que le permitan, de manera dinámica, relacionar la enseñanza explícita con la temática a



abordar, sin que en ningún momento el trabajo con los contenidos específicos se convierta sólo en enseñanza de destrezas y que éstas no tengan relación coherente con las teorías científicas que se están abordando, el propósito es tratar de articular los contenidos científicos con las destrezas intelectuales a fin de que los estudiantes piensen con teoría científica.

***La infusión del pensamiento a través de los contenidos de las asignaturas***

Como se mencionó anteriormente, es importante relacionar la enseñanza de las destrezas intelectuales, dentro de un conocimiento específico, en este caso el conocimiento de la química como disciplina científica que se enseña en el contexto escolar. En este aspecto, es muy importante que los profesores, tengan conocimiento de la disciplina a enseñar y que de esta manera puedan articular desde diferentes perspectivas el conocimiento disciplinar, por ejemplo asociarlo con otros campos del conocimiento como la Historia de la Ciencia, que permite comprender cómo, por qué y de qué manera se han desarrollado los diferentes conceptos que sustentan el cuerpo de la química como ciencia.

***Las actividades de metacognición son indispensables para mejorar el pensamiento***

Es necesario que el proceso metacognitivo sea considerado en cada una de las actividades que se desarrollan al interior del aula. De esta manera, se establecerán procesos conscientes y reflexivos a propósito de lo que se está enseñando/aprendiendo y de cómo es la forma más efectiva de abordar este proceso. Así, los estudiantes desarrollan estrategias más efectivas de estudiar las diferentes

temáticas presentadas, pero además consolida cuerpos teóricos que le permitirán actuar en las diferentes situaciones cotidianas mediante la promoción activa de los estudiantes en la construcción de sus explicaciones científicas para dar cuenta de los fenómenos y situaciones que lo rodean.

***Las transferencias del aprendizaje***

Esta destreza permite que los estudiantes, integren los diferentes conocimientos trabajados en el aula, en otros contextos diferentes, como la vida cotidiana, el contexto cultura y social donde se desenvuelven. Aquí, es muy importante que el profesor regule constantemente la transferencia de los aprendizajes, como una manera de evidenciar que los alumnos están utilizando los conocimientos aprendidos en otras situaciones, es decir, que actúan a partir de las teorías científicas desarrolladas en el aula.

Bajo este componente, se considera que el rol del profesor debe caracterizarse por ser más flexible y creativo para poder integrar las destrezas que desea promover a través del contenido disciplinar. El estudiante, por su parte debe participar activamente y apropiarse de las teorías científicas que le presentan a través del uso de las destrezas enseñadas.

***Aspectos a considerar por el profesor para enseñar a aprender profundamente***

***Enseñar a través de tópicos generativos***

Habitualmente los profesores de química, se quejan porque hace falta tiempo para enseñar las temáticas establecidas en los currículos de enseñanza básica secundaria y media muchas veces, este

afán se reduce a la preparación de los estudiantes para las pruebas estatales, en lugar de promover una enseñanza que permita comprender la dinámica de la química y la relación de estos contenidos científicos en aspectos como su vida cotidiana, sus intereses y su contexto en particular. No obstante, se ha hecho manifiesto que no es importante enseñar muchos contenidos, sino que se debe seleccionar los más relevantes en la disciplina y de tal manera que se puedan relacionar con los intereses y el contexto de los estudiantes. Para ello, se hace necesario que el profesor tenga dominio de la disciplina que enseña y que conozca la historia de la química, para que así pueda seleccionar cuales son las temáticas más relevantes que han permitido la evolución y el desarrollo de esta disciplina científica. Algunos investigadores (Izquierdo, 2004 y Mosquera, Mora, García, 2003) a través del estudio de la historia de la química desde sus inicios hasta la actualidad, han propuesto varios temas centrales los cuales son relevantes para dar cuenta de esta disciplina, su objeto de estudio; métodos; dinámicas de las comunidades científicas; retos y problemas que ha afrontado a lo largo de su desarrollo, entre otros aspectos. Actualmente, la historia de la ciencia, ha proporcionado numerosas investigaciones que permiten dar cuenta de los temas centrales de la química. Se toma esta perspectiva, porque además de dar cuenta del desarrollo y evolución conceptual de la química, permite evidenciar relaciones con contextos culturales, sociales, políticos y económicos, que promueven una imagen de ciencia dinámica que se desarrolla día

a día, gracias a la interacción de hombres y mujeres en diferentes contextos.

#### ***Plantear objetivos que exijan pensar***

Los tópicos generativos, con las características mencionadas en el literal anterior, requieren objetivos definidos que permitan la comprensión, retención y uso significativo. Para ello, es necesario planificarlos y articularlos con las destrezas que se desean desarrollar y que además sean factibles de considerar de acuerdo con el tópico seleccionado. Estos objetivos deben ser conocidos previamente por todos y se sugiere que los estudiantes, relacionen cada una de las actividades que van a desarrollar en función de los objetivos propuestos.

#### ***Diseñar actividades que impliquen la elaboración mental***

En este aspecto es muy importante considerar actividades que sean significativas para los estudiantes, en donde ellos evidencien que están comprendiendo los conocimientos científicos trabajados en el aula, a través del desarrollo de las destrezas que se promueve. En este aspecto es muy importante considerar los aspectos mencionados por Marzano *et ál.* (1992), en cada una de las dimensiones del aprendizaje.

#### ***Realizar una evaluación del proceso***

La evaluación se centra en el proceso y no en los resultados, ésta se encuentra en constante relación entre la enseñanza y aprendizaje. Desde esta perspectiva, es necesario que exista retroalimentación permanente y continua de los procesos, los criterios de evaluación deben ser conocidos previamente por los estudiantes, deben ser flexibles, es

decir, los estudiantes pueden participar en la construcción de los criterios. Esto permite que la enseñanza de la química, se configure desde otra dimensión, en donde la memorización de fórmulas y símbolos no es importante, sino que se considera la relación que los estudiantes van haciendo a través del desarrollo de las distintas destrezas de las teorías y la forma como ellos construyen conocimiento científico.

### **Consideraciones finales y aportes para la enseñanza de la química en la educación básica secundaria y media**

El Modelo Integrado de Aprendizaje Profundo, MIAP, ha sido analizado destacando las fortalezas y debilidades en cada uno de sus aspectos teóricos. El modo en que se presentaron los fundamentos teóricos no significa que la secuencia de cada uno de estos sea lineal, sino por el contrario que se deben integrar de manera intencionada para lograr desarrollar destrezas intelectuales a través de los contenidos específicos.

Es importante señalar una vez más, la necesidad de que los profesores conozcan su disciplina y establezcan nuevas estrategias en los procesos de enseñanza y aprendizaje que se llevan a cabo en el aula. Para ello, se propone fundamentalmente el conocimiento de la construcción disciplinar de la química desde la historia de la ciencia para reconocer algunos aspectos que

pueden ser fundamentales a la hora de seleccionar las temáticas a tratar, o desde el MIAP, cuando se proponga un tópico generativo.

Como es señalado por diferentes investigadores, el objetivo de la enseñanza de la química, no corresponde en estos días a entregar mucha información, la cual no es comprendida a profundidad, ni tampoco útil para la vida personal y cotidiana de los estudiantes. Ahora, se propone que esta enseñanza ofrezca elementos que contribuyan a la apropiación de aspectos relevantes de la química, los cuales les permitan a los estudiantes de educación básica y media, ser críticos, creativos y metacognitivos a partir de los conocimientos científicos, es decir, que tengan pensamiento de buena calidad, para interactuar efectivamente en el contexto cultural y social al que pertenecen.

En este análisis sólo se reflexiona en cuanto los aspectos teóricos del MIAP como punto de partida, una propuesta interesante sería llevar este modelo a las prácticas educativas de educación básica y media, para evaluar sus aportes en la enseñanza de la química desde el aula y evidenciar cómo a partir de un Modelo de enseñanza y aprendizaje bajo un enfoque cognitivista, se pueden proporcionar aspectos que enriquezcan la práctica de los profesores y el pensamiento de buena calidad en los estudiantes a partir del conocimiento químico. ▲

## Referencias

- Adúriz Bravo, A. (2005). Directrices para la formación epistemológica del futuro profesorado de ciencias de la naturaleza. En: Perafán y Adúriz-Bravo (comp.), *Pensamiento y conocimiento de los profesores. Debates y perspectivas internacionales*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional, pp. 125-136.
- Adúriz-Bravo, A., Izquierdo, M. y Estany, A. (2002). Una propuesta para estructurar la enseñanza de la filosofía de las ciencias para el profesorado de ciencias en formación. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (3), 465-476.
- Beas, J. (1994). ¿Qué es el pensamiento de Buena Calidad? *Pensamiento Educativo*. Memorias del Segundo Encuentro Nacional de Enfoques Cognitivos Actuales en Educación, vol. 15.
- Beas, J., Santa Cruz, J., Thomsen, P. y Utreñas, S. (2000). *Enseñar a pensar para aprender mejor*. Santiago de Chile: Ediciones Universidad Católica.
- Campanario, J. (1999). La ciencia que no enseñamos. *Enseñanza de las Ciencias*. 17 (3), 397-410.
- Duschl, R. (1997). *Renovar la enseñanza de las ciencias. Importancia de las teorías y su desarrollo*. España, Madrid: Narcea.
- Izquierdo, M. (2004). Un nuevo enfoque de la enseñanza de la química: contextualizar y modelizar. *The Journal of the Argentin Chemical Society*, 92(4/6), 115 -136.
- Izquierdo, M., Vallverdú, J., Quintanilla, M. y Merino, C. (2006). Relación entre la historia y la filosofía de las ciencias II. *Alambique*, 48, 78-91.
- Justi, R. (2006). La enseñanza de las ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (6), 173-184.
- Márquez, C. (2006). Plantear buenas preguntas: El punto de partida para mirar, ver y explicar con sentido. Primer Encuentro iberoamericano de investigación sobre enseñanza de las ciencias y las matemáticas. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Marzano, R. J. et ál. (1992). *Dimensiones del aprendizaje: manual para el profesor*. Virginia: ASCD.
- Matthews, M. (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias* 12 (2), 255-277.
- Mosquera, C., Mora, W. y García, A. (2003). *Conceptos fundamentales de química y su relación con el desarrollo profesional del profesorado*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Perkins, D. (1999). ¿Qué es la comprensión? En: Stone, M. *Enseñanza para la comprensión. Vinculación entre la teoría y la práctica*. Buenos Aires: Paidós, pp. 69-92.
- Quintanilla, M., Izquierdo, M y Adúriz-Bravo, A. (2005). Characteristics and methodological discussion about a theoretical model that introduces the history of science at an early stage of the experimental science teacher's professional formation. *Science & Education IHPST* 8, 15-18 July. University of Leeds.
- Sanmartí, N. e Izquierdo, M. (1998). Enseñar a leer y escribir textos en ciencias. En: Jorba, J., Gómez, L. y Prat, A. (ed). *Hablar y escribir para aprender*. Bellaterra: ICE de la UAB., pp. 181-199.
- Swartz, R. y Perkins, D. (1989). *Teaching thinking: issue and approaches*. Pacific Grove: Midwes Publications.

**Tablas de contenido de la revista Tecné, Episteme y Didaxis  
Ediciones 12 a 20**

Año 2002, n.º 12

**Editorial**

**Algunos aspectos relacionados con el origen y desarrollo de la investigación interpretativa de la enseñanza: implicaciones para la educación en ciencias**

Gerardo Andrés Perafán

**Evolución en las concepciones sobre evaluación en estudiantes de programa de maestría en docencia de la química**

Luis E. Salcedo

Lilia Reyes

Andrés Perafán

**La historia de la ciencia como herramienta para la construcción de significados como recursos de física universitarios: un ejemplo en fuerza y movimiento**

Diana Patricia Rodríguez Pineda

José González Flores

**Calidad ecológica del río Villeta**

María Victoria Ruíz Chavarro

María Eugenia Rincón

**Desarrollo de competencia en las áreas de tecnología y matemáticas a través de marcos conceptuales**

Luis facundo Maldonado G.

Omar López Vargas M.

Jaime Ibáñez Ibáñez M.

Héctor Rojas sarmiento

Luis Carlos Sarmiento

**Los museos de ciencias como instrumentos de reflexión sobre los problemas del planeta**

Mario González

Daniel Gil

Amparo Wilches

**Experimentos cualitativos. Una forma de abordar el electromagnetismo**

Luis Miguel Beltrán Sierra

José González flores

**Historia de la didáctica de las ciencias: un campo de investigación**

Rómulo Gallego Badillo

Royman Pérez

Adriana Patricia Gallego Torres

**Desarrollo hipermediales del Grupo LINGUATICs**

Herry González

Esperanza Vera

**Editorial**

**Entendimiento del concepto MOL logrado por los estudiantes en un curso de química general de corte constructivista**

Carlos Utria Echeverría  
Roberto Figueroa Molina

**La resolución de problemas en el área de la bioquímica: un enfoque cognitivo y metacognitivo**

Dolffi Rodríguez Campos  
Pedro Nel Zapata Castañeda

**Estudio de caracterización del área teleinformática**

Miguel Ángel Vargas Hernández  
Eugenio Paniagua Suárez

**La cosmovisión peirceana como herramienta epistemológica para leer la física**

Lucía Velasco Villareal

**Hilos conductores del aprendizaje autónomo y los procesos de razonamiento**

Luis Facundo Maldonado Granados  
Nerey Ortega del Castillo  
Luis Bayardo Sanabria Rodríguez  
David Macías Mora

**Las nuevas tecnologías de información y comunicación en los procesos de enseñanza y aprendizaje: representación del conocimiento y educación virtual**

Mariela Rivero Carrillo  
Herminia Quiceno Valencia

**Evolución de la líneas I+D de informática educativa de la Universidad Eafit**

Claudia María Zea Restrepo  
María del Rosario Atuesta Venegas  
John Trujillo Vargas

**Ponencia: SWINT-DBP: Software integrador para el desarrollo de destrezas básicas de pensamiento**

Fernando Iriarte Díaz-Granados  
Isabel Sierra Pineda  
Sara Noguera Hernández

**Modalidades de realimentación en la asignación de acordes a una melodía y en diseño de la progresión de funciones armónicas**

Horacio Alberto Lapidus

**Comunicación aumentativa y alternativa mediante tecnologías de apoyo para personas con discapacidad**

Nahir de Salazar  
Yury Ferrer, Irma Toro

**La metodología Q: más que una técnica de investigación**

Nilson Genaro Valencia Vallejo

Año 2003, n.º 14

**Editorial**

**La construcción de los irracionales de Dedering como instrumento en un análisis de textos de octavo grado**

Jeannette Vargas Hernández  
Luis Facundo Maldonado Granados, Ph. D.  
Nerey Ortega del Castillo, MSc.  
Luis Bayardo Sanabria, MSc.  
Víctor Julio Quintero Suárez, MSc

**“Concepciones de ciencia e investigación que subyace en los profesores de ciencias, aspirantes al programa de maestría en docencia de la química”**

Manuel Erazo Praga

**Los test de asociación y el establecimiento de las relaciones entre conceptos químicos**

Fidel Antonio Cárdenas S.  
Catalina Rodríguez B.  
Mónica A. Vera J

**La teoría de la aromaticidad: un programa de investigación**

Fuentes Medina G. P.  
Muñoz Albarracín, L. M

**Estudio histórico-epistemológico del modelo atómico de Rutherford**

Uribe Beltrán M. V.  
Cuellar Fernández L

**Estudio histórico-epistemológico sobre la teoría del modelo de la estructura química del ácido desoxirribonucleico (ADN)**

Angélica María García Torres

**Los problemas de conocimiento una perspectiva compleja para la enseñanza de las ciencias**

Juan Carlos Orozco Cruz  
Steiner Valencia Vargas  
Olga Méndez Núñez  
Gladys Jiménez Gómez  
José Pablo Garzón Ortiz

**Procesos de aprendizaje mediados por las tecnologías de la información**

Dolffi Rodríguez Campos  
Pedro Nel zapata Castañeda

**Las nuevas tecnologías en el proyecto de desarrollo institucional de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas**

José Nelson Pérez Castillo  
Blanca Magdalena Castro Vargas



**Año 2004, n.º 15**

**Concepciones de los profesores y estudiantes sobre prácticas de laboratorio del nuevo proyecto curricular de la Licenciatura en Química de la UPN**

Luis Enrique Salcedo T.  
Julio Cesar Rivera R

**Tendencias en las creencias de maestros sobre calidad educativa**

Lilia Reyes Yeimy Cárdenas

**Estudio exploratorio de las interacciones mentales de los estudiantes de sexto grado sobre el entendimiento conceptual de multiplicación**

Roberto Figueroa M.  
Carlos Utría E.  
Rafael Colpas C.  
Antonio Araujo P.

**Sistema periódico de los elementos químicos, progreso conceptual y didáctica**

María Victoria Álzate

**La enseñanza de la química ante las transformaciones científico-tecnológicas**

Verónica Andrea Catebiel

**La didáctica de la química: una ciencia emergente**

José Carriazo Baños

**Química: un mentefacto conceptual**

Alexander Stip Martínez

**Transformar la cotidianidad institucional**

Brenda Isabel López Vargas, Sonia Cristina Gamboa Sarmiento

**La formación de instructores en TIC usando ambientes virtuales de aprendizaje**

Adriana Lizeth Buitrago

**Año 2004, n.º 16**

**Editorial**

Amparo Vilches Peña  
Daniel Gil Pérez

**Um estudo exploratório parapara a insercao da astronomia na formacao de professores dos anos iniciais do ensino fundamental**

Rodolfo Lanhi  
Roberto Nardi

**Sensor para detectar el calor y la posición de los objetos mediante estimulación táctil en personas invidentes**

Luis Carlos Sarmiento V.  
Luis Facundo Maldonado G.

**Los orígenes del origen de las especies**

Julio Alejandro Castro Moreno

**Estudio Inicial de dos programas para la formación de licenciados en química**

Rafael Decid Amador Rodrigue  
Rómulo Gallego Badillo

**Uma Proposta de software hiperdimia para o ensino de Física moderna e contemporanea**

Daniel Iria Machado  
Roberto Nardi

**Formadores de professores de Física: uma analise de seus discursos e como podem influencia na implantacao de novos curriculos**

Beatriz S. C. Cortela  
Robert Nardi

**La organización del contenido de enseñanza en las carreras universitarias**

Jose Manuel Ruiz S.  
Gaspar Barreto A.  
Ramon Blanco S.

**Estrategia didáctica para la enseñanza de la química en el contexto de las relaciones ciencia, tecnología, sociedad y ambiente**

Jaime Enrique Guerrero S.  
Luz Marina Cabrera M.

Año 2005, n.º 17

**Editorial**

Mercé Izquierdo Aymerich

**Análisis y primero resultados de una innovación fundamentada en el curso de tecnociencia en ingeniería**

Jaime Corena Parra  
Joaquín Martínez Torregrosa  
Pablo Valdés Castro.

**La Exploración como actividad en el aprendizaje de la geometría**

Carmen Samper de Caicedo  
Cecilia Leguizamon de Bernal  
Orlando Aya Corredor  
Lorenzo Martínez Hernández.

**Practica de ensino de Física: a análise do discurso como base para interpretacao de relatórios de estágio de regencia**

Sergio Camargo  
Robeto Nardi  
Iracema B. Torcuato

**O uso de analogias e metáforas como recursos didáticos no ensino de Física**

Fernanda Cátia Bozelli  
Roberto Nardi

**De Lamarck a Darwin: ¿continuidad o ruptura? ¿linealidad o bifurcacion?**

Julio Alejandro Castro Moreno

**La química como un programa de investigación científica.  
Un ejemplo a través de la teoría de Lewis**

Leonardo Fabio Martínez  
Manuel Fredy Molina Caballero

**La Complejidad en el marco de una propuesta pluriparadigmática**

Rocío Pérez Mesa  
Fair Alexander Porras Contreras.

**Análisis de la transposición didáctica de los conceptos calor y temperatura en los libros de texto para la enseñanza de la química**

Johanna Patricia Camacho González  
Royman Pérez Miranda.

**Tesis de Maestría**

**Año 2006 – No 18 - Bogotá**

**Editorial**

Rafael Porlán Ariza

**El sentido, una característica importante en las situaciones didácticas y los campos conceptuales: una propuesta metodológica para el aprendizaje de las matemáticas**

Francisco Javier Camelo Bustos  
Gabriel Mancera Ortiz

**La formación de la habilidad para resolver problemas de matemáticas: una experiencia investigativa sustentada en el enfoque histórico cultural**

Israel Mazario Triana

**Síntesis y caracterización de compuestos de coordinación: una experiencia de aprendizaje por investigación en química inorgánica**

J-G Carriazo  
D. Pérez-Sotelo  
A. Ensuncho-Muñoz

**Incidencia de un modelo de experto y de un simulador en las decisiones sobre materiales para el diseño de máquinas**

Luis Facundo Maldonado G.  
Omar López Vargas

**A educacao para o consumo e o ensino de ciencias no Brasil. Interdisciplinaridade, cidadania e transversalidade**

Edson Cardi  
Fernando Bastos.

**Entendimiento conceptual de estudiantes universitarios sobre conceptos en las ciencias experimentales**

Roberto Figueroa Molina  
Carlos Utria Echeverría  
Rafael Colpas Castillo

**El fenómeno de la caída libre en Galileo**

Maria Lilia Perilla Perilla

**Uma estrutura curricular para favorecer a evolucao inicial de futuros professores de ciencias**

Joao Batista Siqueira Harres  
Michelle Camara Pizzato  
Ana Paula Sebastiany  
Flaviane Predebon  
Magda Cristiane Fonseca  
Tatiana Henz.

**Orientaciones curriculares con enfoque CTS Para la educación media: la resolución de problemas socialmente relevantes**

Miguel Corchuelo  
Verónica Catebiel.

**Tesis de maestría**

**Año 2006, n.º19**

**Los procesos de adquisición de conocimiento en la didáctica de la ciencia química en la educación superior**

Margarita Rosa Rendon Fernandez  
Pedro Nel Zapata Castañeda.

**Entendimiento conceptual de los estudiantes del nivel de básica secundaria sobre el concepto de ácido**

Roberto Figueroa Molina  
Carlos Utria Echeverria  
Rafael Colpas Castillo

**Libros didácticos en la formación de profesores en ciencias: comprendiendo las relaciones entre los saberes académicos y los saberes escolares**

Deborah Vidal Vasconcellos  
Maria Margarita Gomes  
Marcia Serra Ferreira  
Sandra Escovedo Selles.

**Estrategia didáctica con enfoque ciencia, tecnología, sociedad y ambiente, para la enseñanza de aspectos de bioquímica**

Leonardo Martinez  
Alvaro Pio Rojas Duarte.

**Concepcoes alternativas e ensino de Biologia: como utilizar estrategias diferenciadas na formacao inicial de licenciandos em Biologia**

Silmara Sartoreto de Oliveira  
Fernando bastos.

**Representaciones sociales acerca de los microorganismos en estudiantes de licenciatura en Biología**

Rosalba Pulido de Castellanos

**La construcción de la categoría ecorregion en los docentes en formación "una propuesta de aprehensión y apropiación de realidades"**

Maria Rocío Pérez Mesa

**Consideraciones sobre la categoría epistemológica de modelo**

Adriana Patricia Gallego Torres

**Tecnología al servicio del medio ambiente**

Francisco Sacristán Romero.

**Tesis de Maestría**

**Año 2006, n.º 20**

**Estrategia en la determinación del factor de forma de la radiación ilustrado con el sistema plano–esfera**

Héctor Armando Duran Peralta  
Orlando Hernández Fandiño.

**El análisis histórico, epistemológico y didáctico como una concreción del modelo de aprendizaje de la termodinámica por investigación**

Yair Alexander Porras Contreras

**Utilización didáctica de la historia de las ciencias: mujeres en ciencia nuclear**

Mari Álvarez Lires  
Teresa Nuño Angos  
Uxío Pérez Rodríguez

**¿Qué competencias científicas promovemos en el aula?**

Guillermo Chona Duarte  
Judith Arteta Vargas  
Sonia Martínez  
Ximena Ibáñez Córdoba  
Marlén Pedraza  
Guillermo Fonseca Amaya.

**Los conceptos sobre ciencia y trabajo científico y sus implicaciones en la elaboración de los programas de ciencias naturales**

Silvio F. Daza Rosales  
José R. Arrieta Vergara.

**Elementos del pensamiento sistémico en la elaboración de explicaciones sobre el fenómeno de la caída de los cuerpos**

Clara Inés Chaparro Susa  
Rosa Inés Pedreros Martínez  
Néstor Fernando Méndez Hincapié  
Hugo Orlando Sastoque Quevedo  
Cesar Augusto Prias Bastidas

**Un análisis histórico–epistemológico de los trabajos de Mendeleiev sobre Periodicidad química**

Fredy Garay Garay  
Rómulo Gallego Badillo  
Royman Pérez Miranda

**Tesis de Maestría**

## Evaluadores de artículos Tecné, Episteme y Didaxis, N.º 23

### Evaluadores internos

Magíster **Royman Pérez Miranda**  
Departamento de Química

Magíster **Juan Carlos Orozco Cruz**  
Departamento de Física

Magíster **Carmen Inés Samper de Caicedo**  
Departamento de Matemáticas

Magíster **Diana Lineth Parga Lozano**  
Departamento de Química

Magíster **Nahir Rodríguez de Salazar**  
Proyecto Manos y Pensamiento

Doctor **Edgar Orlay Valbuena Ussa**  
Departamento de Biología

Magíster **Rosa Inés Pedreros Martínez**  
Departamento de Física

Magíster **Martha Yaneth Villareal**  
Departamento de Química

Magíster **Julieth Alexandra Martínez**  
Facultad de Ciencia y Tecnología

Magíster **Luis Carlos Sarmiento**  
Departamento de Tecnología

Doctor **Luis Enrique Salcedo**  
Departamento de Química

Magíster **Oscar Holguín Villamil**  
Departamentote Tecnología

Magíster **Rodrigo Rodríguez Cepeda**  
Departamento de Química

### Evaluadores externos

Doctor **William Manuel Mora Penagos**  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Doctor **Mario Quintanilla Gatica**  
Pontificia Universidad Católica de Chile

Doctor **Bruno D' Amore**  
Università di Bologna (Italia)

Doctor **Pedro da Cunha Pinto Neto**  
Universidad Estatal de Campinas

Magíster **Rafael Yesid Amador**  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Doctoranda **Silmara Sartoretode Oliveira**  
Universidad Estatal Paulista

Doctora **Adriana Patricia Gallego**  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Doctora **Carmen Alicia Martínez**  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Magíster **Carlos Ariel Rentería Jiménez**  
Instituto de Investigaciones  
Ambientales del Pacífico

Magíster **Deysi Baracaldo Guzmán.**  
Universidad Libre

Doctorando **Leonardo Fabio Martínez**  
Universidade Estadual Paulista  
Júlio De Mesquita Filho

Doctor **Carlos Arturo Soto Lombana**  
Universidad de Antioquia

Doctor **Álvaro García Martínez**  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

---

### FE DE ERRATAS TEΔ N° 22

En el artículo “Una década de investigación en la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad Pedagógica Nacional-Desarrollo de la investigación en el Departamento de Matemáticas, entre 1998 y 2008”, publicado en la revista número 22, equivocadamente aparece como integrante del grupo de investigación Rutas Pedagógicas en la formación del profesor de matemáticas la profesora María Nubia Soler, la cual se omitió como integrante del grupo de investigación Educación Estadística del Departamento de Matemáticas.

---

## Normas para la remisión de originales

1. Los artículos se remitirán al correo electrónico de la revista TEΔ, [revistated@uni.pedagogica.edu.co](mailto:revistated@uni.pedagogica.edu.co). En el archivo debe figurar el nombre completo del autor o los autores, su dirección, correo electrónico y lugar de trabajo.
2. Los artículos tendrán una extensión máxima de 20 folios.
3. En el artículo se remitirá en este orden: título en español e inglés, un resumen con extensión máxima de 10 líneas, palabras clave y key words.
4. El abstract debe hacerse en inglés y corresponder a una página.
5. Se encarece la confección de originales con un procesador de textos (PC compatibles) de manera que, una vez aceptado el artículo, el autor o los autores remitan el archivo digital a la revista con la versión definitiva. Es imprescindible indicar el programa de tratamiento de textos utilizados.
6. Todas las citas bibliográficas se relacionarán al final del artículo por orden alfabético de apellidos, indicando autor(es), año, título de la revista completo y en cursiva (o subrayado), volumen, número y páginas (usar normas APA, 5.a edición o posteriores).  
En el caso de referencias de libros, se escribirá el título en cursivas (o subrayado) y se pondrá el lugar de edición, dos puntos y la editorial (usar normas APA, 5.a edición o posteriores).  
Todas las referencias bibliográficas deben corresponder a menciones hechas en el texto. No debe citarse al pie de página.
7. Dentro del texto, las referencias se indicarán dando, entre paréntesis, los apellidos de los autores o autoras y el año de publicación, separados por una coma (según normas APA).
8. Siempre que sea posible se realizarán esquemas, dibujos, gráficas y tablas, en negro sobre blanco, con un procesador informático. Es imprescindible indicar el procesador que se ha utilizado. Las fotografías se enviarán en blanco y negro sobre papel brillante, bien contrastadas, con dimensiones mínimas de 6x9 cm, y se adjuntarán en un sobre aparte.
9. Citar la revista así: *Tecné, Episteme y Didaxis*, N.º \_\_\_\_\_, páginas \_\_\_\_\_.
10. Debe indicarse si el artículo es de: investigación científica y tecnológica, reflexión, revisión, reporte de caso, revisión de tema, documento de reflexión no derivado de investigación, reseña bibliográfica o un artículo corto.
11. El contenido de los artículos es de exclusiva responsabilidad del autor o los autores.
12. Los resúmenes de tesis didácticas constarán de los siguientes datos: Título, autor (es), tipo de tesis (doctoral o maestría), director(es), departamento, universidad, programa en que se ha presentado, fecha de presentación, resumen de una extensión máxima de 4.500 caracteres, acompañado de disquete.
13. Incluir en medio magnético la hoja de vida sintetizada (dos páginas) de los autores.



**IV CONGRESO  
INTERNACIONAL  
SOBRE  
FORMACIÓN DE  
PROFESORES  
DE CIENCIAS**

**CTSA y Educación  
para la ciudadanía**

**14, 15, 16 de octubre de 2009  
Bogotá, Colombia**

**Organizado por:** Revista TED de la Facultad de Ciencia y la Tecnología (de la UPN: Universidad Pedagógica Nacional), Facultad de Ciencias y Educación (de la UDFJC: Universidad Distrital Francisco José de Caldas).

**Antecedentes:** Por los resultados logrados en los Congresos anteriores, de los cuales el primero fue organizado por la UPN y la UDFJC, y los dos últimos con alcance internacional donde participaron profesores universitarios de Argentina, Brasil, Chile y Colombia, se organiza este cuarto Congreso.

**Presentación:** La didáctica de las ciencias es hoy una disciplina conceptual y metodológicamente fundamentada, y de acuerdo con éstos, los campos de investigación delimitados por los especialistas son entre otros, la formación inicial y continua del profesorado, sus concepciones acerca de las ciencias, las relaciones CTSA, la evaluación, considerándose la primera de gran importancia.

Dada la preocupación que dicha formación tiene, tanto para los especialistas como de las autoridades gubernamentales del ramo, el Cuarto Congreso conserva las orientaciones de los anteriores eventos. Harán presencia en el evento connotados conferencistas nacionales e internacionales, especialistas en la Enseñanza de las Ciencias de la Naturaleza.

Las preguntas, ¿qué profesores de ciencias se están formando? ¿Desde que presupuestos epistemológicos, didácticos y pedagógicos? ¿Qué investigaciones se adelantan al respecto? ¿Qué incidencia tiene esta formación en la construcción de valores y de convivencia pacífica? ¿Qué versión de ciencia socializar entre nuestros conciudadanos? Serán el trasfondo del encuentro en Colombia.

**Objetivos:**

- Convocar a la comunidad de especialistas, directivos académicos y docentes interesados, para analizar los fundamentos que orientan hoy la formación inicial y continua del profesorado de ciencias.
- Analizar el estado de la investigación en este campo.
- Discutir el estatuto científico de la didáctica de las ciencias de la naturaleza.
- Revisar los estudios adelantados en torno a la historia y la epistemología de las didácticas de las ciencias.
- Examinar la importancia de las nuevas tecnologías (NTIC) en la enseñanza de las ciencias de la naturaleza.

**Áreas de trabajo:**

- Formación de profesores.
- Relaciones CTSA.
- Historia y epistemología de las ciencias.
- Relaciones enseñanza-aprendizaje.
- Estatuto científico de la enseñanza de las ciencias.
- Las TIC en la enseñanza de las ciencias de la naturaleza.

**Metodología:**

Estará estructurada alrededor de conferencias centrales orientadas por especialistas nacionales e internacionales, que girarán en torno a la fundamentación epistemológica en la formación de profesores en ciencias; la formación de profesores en el contexto latinoamericano; los aportes de la nueva historia de las ciencias; la introducción de las matemáticas en la formulación de teorías o modelos científicos; el papel de las TIC en las ciencias de la naturaleza; la formación de postgrado en didáctica de las ciencias y doctorado en educación y los referentes políticos nacionales para la formación de profesores en ciencias. Habrá, además, un **panel** central orientado por los conferencistas invitados; **ponencias** y **talleres** desarrollados por los asistentes que se inscriban dentro de estas modalidades.

**Participación:**

Los asistentes podrán participar en las siguientes modalidades, de acuerdo con las áreas de trabajo:

## Ponencias

Presentadas y aceptadas previamente por el comité Científico del evento (comité editorial de la revista *Tecné, Episteme y Didaxis* - TEΔ). Las ponencias y los resúmenes han de ajustarse al siguiente formato:

- Una extensión máxima de ocho paginas tamaño carta, impresas en Time New Román 12 puntos, espacio sencillo. Especificar el área en la que se inscribe la ponencia.
- Título en español y en inglés.
- Autor(es), indicando la(s) institución(es) con la(s) dirección(es) electrónica(s) respectiva(s).
- Resumen (*Abstract*) y palabras clave (*Keywords*)
- Introducción.
- Desarrollo.
- Conclusiones.
- Bibliografía, máximo 5 referencias centrales.

Talleres (*workshops*)

Sobre didáctica de la biología, de la física, de las Matemáticas, de la Química y de las tecnologías.

1. Una extensión de un máximo de seis paginas tamaño carta, impresas en fuente Time New Román 12 puntos, espacio sencillo. Especificar el área en la que se inscribe el taller
2. Título en español y en inglés.
3. Autor (es), indicando la (s) institución (es) con la (s) dirección (es) electrónica (s) respectiva (s).
4. Introducción.
5. Desarrollo.
6. Bibliografía, máximo 5 referencias centrales.

**Invitados internacionales y nacionales:**

Álvaro García (UDFJC, Colombia - Didáctica de la Química)

Elsa Meinardi (UBA, Argentina - Didáctica de la Biología),

José Antonio Chamizo (UNAM, México - Didáctica de la Química)

Marcela Romero (Chile - Didáctica de la Tecnología)

María Eugenia Guerrero (U. Católica, Colombia Didáctica de las matemáticas),

Maria José Almeyda (Universidad de Campinas, Brasil, Didáctica de la Física)

William M. Mora (UDFJC, Colombia, Educación ambiental)

Las conferencias centrales serán publicadas en un Número extraordinario impreso de la revista *Tecné, Episteme y Didaxis* - TEΔ, y los trabajos aceptados para las ponencias y talleres se publicarán en un CD preparado especialmente para el evento.

La fecha para la recepción de ponencias y talleres será: Desde el 01 de noviembre de 2008 hasta el 31 de marzo 2009 a las 18:00 horas. La evaluación de estos trabajos será del 01 de abril al 12 de junio. La confirmación de los trabajos aceptados es de 13 al 31 de julio de 2009. Las ponencias y talleres deben ser enviadas a: [revistated@uni.pedagogica.edu.co](mailto:revistated@uni.pedagogica.edu.co) o [revistated@pedagogica.edu.co](mailto:revistated@pedagogica.edu.co).

**Inscripciones:**

Asistentes, Ponentes y talleristas:

Profesionales

- Extranjeros: US\$ 150
- Nacionales: Col \$ 200.000

Estudiantes

- Extranjeros: US\$ 40
- Nacionales: Col \$ 50.000

**Informes e inscripciones**

Universidad Pedagógica Nacional

Facultad de Ciencia y Tecnología

Calle 72 N.º 11-86 Edificio B, Oficina B-223

Tel.: 5941863

