



Revista de Investigación

ISSN: 0798-0329

revistadeinvestigacion@gmail.com

Universidad Pedagógica Experimental

Libertador

Venezuela

Flores, Julia; Caballero Sahelices, María Concesa; Moreira, Marco Antonio
El laboratorio en la enseñanza de las ciencias: Una visión integral en este complejo
ambiente de aprendizaje

Revista de Investigación, núm. 68, 2009, pp. 75-111

Universidad Pedagógica Experimental Libertador

Caracas, Venezuela

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=376140383004>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

El laboratorio en la enseñanza de las ciencias: Una visión integral en este complejo ambiente de aprendizaje

The science laboratory teaching:
An integral vision in this complex learning environment

Julia Flores (1)

jflorespejo@hotmail.com

María Concesa Caballero Sahelices (2)

concesa@ubu.es

Marco Antonio Moreira (3)

moreira@if.ufrgs.br

⁽¹⁾ Universidad Pedagógica Experimental Libertador,
Instituto Pedagógico de Caracas

⁽²⁾ Departamento de Física, Universidad de Burgos, España

⁽³⁾ Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

RESUMEN

Esta revisión documental general sobre la problemática de la enseñanza y aprendizaje del laboratorio de ciencias está orientada al área de Química. Tiene tres propósitos: (a) presentar una visión actualizada general de la problemática; (b), brindar información útil para investigaciones futuras; y (c) promover la reflexión sobre nuestra práctica docente en el laboratorio de ciencias. Se fundamenta en la revisión de importantes artículos de investigación y de opinión crítica, además de revisiones (reviews) y libros especializados. La información se organizó en siete aspectos, considerados relevantes por los autores: (a) una mirada histórica al laboratorio en la enseñanza de la Química, (b) los objetivos del trabajo de laboratorio, (c) los enfoques o estilos de enseñanza del laboratorio, (d) la efectividad del trabajo de laboratorio, (e) las concepciones sobre la naturaleza de la ciencia, (f) la enseñanza del laboratorio con enfoque epistemológico, y (g) la evaluación con diagramas V y mapas conceptuales.

Palabras clave: enseñanza del laboratorio de ciencias; trabajos de laboratorio; enseñanza de la Química

ABSTRACT

This work is a general documental review about the problematic situation of science laboratory teaching and learning, oriented toward the area of chemistry. The purpose of this work is threefold: (a) to show a present-day vision about the problem; (b) to offer useful information for future research; and (c) to promote reflection on our teaching practice in the science laboratory. It is based on the review of numerous and important literature sources: research articles, critical opinion articles and review articles, besides specialized books. The information was organized around seven relevant aspects, considered important by the authors: (a) a historical look at the teaching of chemistry laboratory (b) the goals of laboratory works, (c) laboratory teaching approaches or styles, (d) the effectiveness of laboratory work, (e) conceptions about the nature of science, (f) laboratory teaching with an epistemological approach, and (g) assessment using V diagrams and concept maps.

Key words: *science laboratory teaching; laboratory work; chemistry teaching*

INTRODUCCIÓN

La enseñanza de las ciencias, como la Química, se ha desarrollado tradicionalmente de manera teórico-práctica, por su naturaleza experimental. En este sentido, el laboratorio siempre ha parecido cumplir con una función esencial como ambiente de aprendizaje para la ejecución de trabajos prácticos. Sin embargo, investigaciones sobre el aporte real de la enseñanza del laboratorio en el aprendizaje de las ciencias, ha generado muchas dudas al respecto que persisten en la actualidad. Aunque algunas investigaciones desarrolladas en las últimas décadas han permitido conocer mejor la problemática, la situación es demasiado compleja como para pretender resolverla en su totalidad en poco tiempo.

La utilidad de los trabajos prácticos de laboratorio¹ en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias no se puede analizar en un plano

¹ El "trabajo de laboratorio" es un tipo de trabajo práctico que puede incluir trabajo experimental, según Hodson (1994) y Hodson (1998, citado en Saraiva-Neves, Caballero y Moreira, 2007).

simplicista, basándose solo en los resultados del pasado, ya que éstos representan mayormente una forma particular de enseñanza que no ha sido necesariamente coherente con el potencial didáctico que pudiera brindar el laboratorio como un complejo ambiente de aprendizaje, en el que el estudiante puede integrar el conocimiento teórico/conceptual con lo metodológico dependiendo del enfoque didáctico abordado por el docente. Es necesario, por lo tanto, desarrollar una visión integral de la enseñanza y aprendizaje en el laboratorio de ciencias.

MÉTODO

Esta revisión se desarrolló sobre una base documental que fue compilada, analizada, integrada y organizada, de modo que permitiera presentar la problemática de la enseñanza y aprendizaje del laboratorio de manera coherente en sus aspectos considerados más relevantes por los autores. Se consultaron artículos y libros especializados; los artículos responden a investigaciones, revisiones y análisis críticos. Se formularon las siguientes preguntas para guiar la revisión: (a) ¿Cómo se ha enseñado la Química en el laboratorio hasta nuestros días?, (b) ¿Qué resultados ha brindado la enseñanza tradicional del laboratorio de ciencias?, (c) ¿Cuáles son los objetivos del laboratorio?, (d) ¿Qué estilos o enfoques didácticos del laboratorio favorecen un aprendizaje significativo de la ciencia?, (e) ¿Cómo contribuye la enseñanza del laboratorio a comprender la naturaleza de la ciencia? y (f) ¿Cómo abordar la enseñanza del laboratorio con una visión constructivista del aprendizaje?

En este sentido, este trabajo pretende contribuir con una mejor comprensión de la problemática actual sobre la enseñanza y aprendizaje del laboratorio de ciencias y con elementos para la reflexión sobre nuestra práctica educativa en este ambiente de aprendizaje. Esta publicación es un avance de una revisión más amplia que no proclama haber agotado toda su posibilidad de enriquecimiento, pero que se considera suficiente para brindar una perspectiva general de la problemática en discusión.

Una mirada histórica al laboratorio en la enseñanza de la Química

Aunque la Química moderna surgió con los trabajos experimentales de Lavoisier en el siglo XVI, no fue sino hasta el siglo XVIII cuando se sistematizó su enseñanza en los estudios de pregrado, para responder a las demandas de una sociedad industrial emergente. Surgieron, entonces, los primeros profesores de Química en diferentes lugares de Estados Unidos e Inglaterra. Sin embargo, la enseñanza sistemática del laboratorio no se introdujo sino hasta inicios del siglo XIX con Thomas Thomson, enfatizándose el desarrollo de habilidades relacionadas con la investigación y la industria (Johnstone, 1993).

A comienzos del siglo XX, la enseñanza del laboratorio de ciencias tuvo un particular auge con énfasis en los trabajos experimentales, pero entró en conflicto en los años veinte y treinta debido a la importancia que se le comenzó a otorgar a las *demonstraciones* sin evidencias pedagógicas justificables (Pickering, 1993). No obstante, la época del lanzamiento del Sputnik, en 1957, le dio un empuje a la enseñanza de las ciencias en los años sesenta (Brock, 1998), resurgiendo la enseñanza experimental del laboratorio, ahora con énfasis en el *método por descubrimiento*, el cual vemos reflejado en materiales como el CHEMStudy (Hofstein, 2004). Esto, sin embargo, privilegió los niveles macroscópicos y representacionales de la Química, más que el nivel submicroscópico, según Johnstone (1993), que es fundamental en la Química moderna.

A pesar de este renacimiento experimental de la enseñanza de la ciencia en los años sesenta, ya para la década del setenta, se observa una declinación en el interés por los laboratorios en general (Pickering, 1993) y se comienza a cuestionar su efectividad y objetivos (Hofstein y Lunetta, 2004). Parte de este desánimo estaba asociado a los desacuerdos existentes sobre los objetivos del trabajo del laboratorio, poniéndose de manifiesto una situación que no era realmente nueva, ya que desde finales del siglo XIX se había reportado “el caótico trabajo de laboratorio” (Barberá y Valdés, 1996, p. 365). No obstante, esta situación de incertidumbre abrió el camino para la investigación sobre su verdadero rol en la enseñanza de

las ciencias y los objetivos que persigue, discusión que se abordará en la siguiente sección.

Los objetivos del trabajo de laboratorio

La definición de los objetivos del trabajo de laboratorio ha sido un punto de discusión difícil de esclarecer y es actualmente un área de investigación activa. La labor depende de múltiples factores, entre los que se pudieran citar: el enfoque de enseñanza, el tipo de actividad, el tipo de instrumento de evaluación, el nivel educativo al que se dirige la instrucción, el currículo a desarrollar, la correspondencia entre objetivos que se pretenden lograr y cómo pretende lograrse. Además, hay que considerar que una visión reduccionista del trabajo práctico del laboratorio entra en contradicción con una visión holista del mismo, por lo que los objetivos del laboratorio están sujetos en primera instancia a la visión que tiene el docente, sin dejar de tomar en cuenta la propia visión de los estudiantes, que muchas veces no es la misma, como lo han podido demostrar investigaciones en el área (Barberá y Valdés, 1996).

El trabajo práctico de laboratorio se ha usado en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias alegándose algunas razones o creencias con relación a los objetivos que cumple. Kirschner (1992) las condensa en tres motivos, las cuales él mismo cuestiona:

1. La práctica sirve a la teoría científica, por lo que se centra en actividades verificativas, experimentos a prueba de errores y manipulación de aparatos, lo cual no contribuye a comprender la *naturaleza sintáctica* de las disciplinas científicas, es decir, los hábitos y destrezas de quienes la practican.
2. Se le ha atribuido al descubrimiento una asociación con el aprendizaje significativo, lo cual no tiene fundamento filosófico ni pedagógico, de acuerdo con Ausubel Novak y Hanesian (1983) y Hodson (1994).
3. El trabajo empírico con el mundo de los fenómenos brinda *insight* y comprensión; esto se cuestiona por el hecho de que la

observación requiere de una estructura conceptual del observador; en otras palabras, como lo plantea Theobald en 1986 (citado en Kirschner, 1992), el significado de los conceptos no está en la experiencia sino viceversa, el significado de la experiencia está en los conceptos que tiene el individuo. Esto permite comprender, en cierto modo, el hecho de que la explicación que los estudiantes dan a fenómenos observados en su vida cotidiana no coincide con las explicaciones científicas construidas sobre la base de conceptos y teorías abstractas.

Hasta finales de los años cincuenta del pasado siglo, la enseñanza del laboratorio se centró principalmente en actividades verificativas discutidas en las clases de teoría, planteadas en los libros de texto o sugeridas en manuales de laboratorio. Esta situación se trató de cambiar con el nuevo currículum de los años sesenta, dándosele a la enseñanza del laboratorio la función importante de desarrollar habilidades de alto nivel cognitivo, mediante actividades centradas en los procesos de la ciencia a través del método indagatorio (Hofstein y Lunetta, 1982). Sin embargo, Barberá y Valdés (1996) señalan que investigaciones de los años sesenta revelaron que los estudiantes, profesores, investigadores y diseñadores curriculares, en los diversos niveles educativos, no coincidían con relación a los objetivos del laboratorio. Asimismo, algunos estudios indican que los objetivos del laboratorio cambian de acuerdo con el nivel educativo, habiendo mayor unanimidad al respecto en los niveles más bajos que en los superiores de la enseñanza secundaria (Hodson, 2005), por lo que se pudiera esperar que la discrepancia sea mayor a nivel universitario.

Un problema general con relación a los objetivos del trabajo de laboratorio detectado en los años sesenta es que los mismos no se correspondían con objetivos propios del trabajo práctico. Esto condujo a que en los años setenta esta situación se tratara de mejorar, pero resultó un fracaso, en virtud de que los objetivos elaborados respondían a los de un curso de ciencia, en general, en el que se enfatizaba el reforzamiento y comprobación de teorías. Hasta mediados de los años noventa, se señalaba que los trabajos de laboratorio tenían como objetivos principales

los siguientes: (a) generar motivación, (b) comprobar teorías y (c) desarrollar destrezas cognitivas de alto nivel (Barberá y Valdés, 1996). Sin embargo, muchos estudiantes piensan que el propósito del trabajo de laboratorio es seguir instrucciones y obtener la respuesta correcta, por lo que se concentran en la idea de manipular instrumentos más que manejar ideas (Hofstein y Lunetta, 2004).

En este contexto, vale la pena señalar que Woolnough y Allsop (citados en Barberá y Valdés, 1996) plantearon, a mediados de los ochenta, tres objetivos que se orientan a la enseñanza de la estructura sintáctica de la ciencia. Estos objetivos son: (a) desarrollar técnicas y destrezas prácticas a través de *ejercicios*; (b) tomar conciencia de fenómenos naturales a través de *experiencias*; y (c) resolver problemas científicos en actividades abiertas a través de *investigaciones*. Esta clasificación permite planificar actividades específicas de laboratorio de acuerdo con los objetivos que se pretendan lograr, considerando el nivel de complejidad cognitiva requerida y/o deseada

Aunque el planteamiento de Woolnough y Allsop responde a objetivos propios del laboratorio, Barberá y Valdés (1996) propusieron en los noventa cuatro objetivos que consideraron característicos del trabajo práctico porque pueden lograrse sólo a través del mismo. Estos objetivos se seleccionaron de clasificaciones realizadas por otros autores: (a) proporcionar experiencia directa sobre fenómenos, (b) permitir contrastar la abstracción científica ya establecida con la realidad que pretende describir, (c) desarrollar competencias técnicas y (d) desarrollar el razonamiento práctico. De forma similar, Caamaño (2005) presenta cinco funciones del trabajo práctico: (a) *función ilustrativa* de los conceptos, (b) *función interpretativa* de las experiencias, (c) *función de aprendizaje* de métodos y técnicas de laboratorio, (d) *función investigativa teórica* relacionada con la resolución de problemas teóricos y construcción de modelos, y (e) *función investigativa práctica* relacionada con la resolución de problemas prácticos. Estas funciones no están en contradicción con las señaladas anteriormente.

Los trabajos de Séré (2002a, 2002b), realizados en algunos países europeos (Dinamarca, Francia, Alemania, Inglaterra, Grecia, Italia y España) en la década de los noventa, han arrojado luces sobre el rol del trabajo de laboratorio en el área de Química, Física y Biología, al revelar que: (a) el conocimiento conceptual/teórico debe estar presente en todo el trabajo de laboratorio y su efectividad está en aplicarlo, por lo que es necesario comenzar a ver *la teoría al servicio de la práctica* y no al revés, como se ha venido haciendo; (b) los métodos, procedimientos y destrezas no deben ser un pretexto para enseñar conocimiento teórico; más bien, el conocimiento procedimental se debe usar como herramienta para generar *autonomía* en trabajos abiertos y proyectos; y (c) el logro de objetivos epistemológicos para el desarrollo de una visión adecuada de la ciencia requiere contextos particulares y una acción interdisciplinaria.

Por ende, los aspectos conceptuales, procedimentales y epistemológicos involucrados en el trabajo de laboratorio constituyen la base de las investigaciones que se pueden continuar desarrollando sobre el rol del laboratorio en la enseñanza de las ciencias. En este contexto, los planteamientos de Hodson (1994) sobre la *enseñanza de la ciencia* son interesantes y de gran utilidad en la praxis docente. Este autor plantea que enseñar ciencia implica tres aspectos interrelacionados, separables para propósitos didácticos, pero insuficientes por sí solos, los cuales son: (a) *aprender ciencia* (el cuerpo de conocimientos teóricos/conceptuales de la ciencia); (b) *aprender sobre la naturaleza de la ciencia* (sus métodos e interacción con la sociedad); y (c) *aprender a hacer ciencia* (práctica idiosincrásica y holística de la actividad investigativa como integradora de conocimientos teóricos y metodológicos para resolver problemas).

Si consideramos que “hacer ciencia es un proceso difuso, incierto, intuitivo e idiosincrásico, y debe apreciarse en la enseñanza con toda su vaguedad, sin intentar disimularla”, como lo señalan Barberá y Valdés (1996, p.373), es evidente que la enseñanza tradicional tipo “receta de cocina” no contribuye a que los estudiantes puedan comprender lo que es la actividad o investigación científica. Es posible que ese tipo de enseñanza sea útil para aprender a seguir instrucciones o desarrollar habilidades técnicas, pero no se le debe sobrevalorar en cuanto a su alcance didáctico.

De este modo, se puede apreciar que la enseñanza de la ciencia es una actividad compleja, en la que se deben integrar aspectos conceptuales, procedimentales y epistemológicos a través de un enfoque didáctico apropiado, lo cual no ha sido la realidad histórica como se apreciará a continuación. Una función importante de la educación, en general, es desarrollar habilidades que le permitan al individuo acceder al conocimiento y a sus relaciones (Kirscher, 1992); por tal razón, el trabajo práctico debe ir más allá del simple desarrollo de destrezas manipulativas, que si bien son importantes y necesarias, son insuficientes (Hodson, 1994).

Según Kirschner (1992), el trabajo práctico se debe utilizar para enseñar y aprender la estructura sintáctica de una disciplina, más que la estructura sustantiva. Plantea tres razones o motivos válidos para ello: (a) desarrollar destrezas específicas a través de ejercicios; (b) aprender el “enfoque académico” a través de los trabajos prácticos como investigaciones, de modo que el estudiante se involucre en la resolución de problemas como lo hace un científico; y (c) tener experiencias con fenómenos. El trabajo práctico como una situación de investigación permite desarrollar destrezas en la resolución de problemas, y esto implica: (a) reconocer la existencia de un problema en una situación dada; (b) definir el problema; (c) buscar soluciones alternativas; (d) evaluar las soluciones alternativas; (e) escoger la mejor estrategia de solución; y (f) evaluar la solución para ver si hay nuevos problema volviendo al principio.

Por otra parte, la interacción grupal en el laboratorio bajo este tipo de enfoque de enseñanza le permite al estudiante discutir, razonar y comparar lo que se ha hecho en el trabajo práctico, teniendo así la oportunidad de vivir un proceso real de resolución de problemas. A pesar de los avances realizados en cuanto a los objetivos del trabajo de laboratorio, hay que considerar que es necesario que el docente tenga una visión, enfoque o estilo didáctico cónsono con los mismos, sin dejar de tomar en cuenta la propia visión de los estudiantes, que muchas veces no coincide.

Enfoques o estilos de enseñanza del laboratorio

Gran parte de la problemática de la enseñanza del laboratorio se relaciona con el estilo instruccional usado por el profesorado. Esta situación está asociada a tres grandes confusiones que se pueden precisar a lo largo de la problemática de la enseñanza y aprendizaje de la ciencia: (a) confusión entre el rol del científico y el rol del estudiante de ciencias; (b) confusión entre la psicología del aprendizaje y la filosofía de la ciencia; y (c) confusión en cuanto a la estructura sustantiva y la estructura sintáctica del conocimiento disciplinar. Toda esta falta de discriminación ha conducido a una confusión sobre lo que es aprender el cuerpo teórico de las ciencias, aprender sus métodos y aprender a practicarla, en los términos que plantea Hodson (1994). A continuación se resumen los estilos de enseñanza del laboratorio de ciencias:

AUTOR(ES)	ESTILO INSTRUCCIONAL O TIPO DE LABORATORIO	BREVE DESCRIPCIÓN
Domin (1999)	Estilo expositivo	Modelo tradicional o verificativo: se usa un manual u hojas sueltas con un procedimiento tipo "receta de cocina" y resultados predeterminados.
	Estilo por descubrimiento	El procedimiento es dado al estudiante y el resultado es predeterminado.
	Estilo indagativo	Permite al estudiante generar el procedimiento y encontrar un resultado indeterminado.
	Estilo de resolución de problemas	El estudiante genera el procedimiento y el resultado del trabajo es predeterminado.
Moreira y Levandowski (1983)	El laboratorio programado	Es altamente estructurado.
	El laboratorio con énfasis en la estructura del experimento	Se centra en el diseño de experimentos.
	El laboratorio con enfoque epistemológico	Se basa en el uso heurístico de la V de Gowin para la resolución de problemas.

AUTOR(ES)	ESTILO INSTRUCCIONAL O TIPO DE LABORATORIO	BREVE DESCRIPCIÓN
Kirschner (1992)	El laboratorio formal o académico	Es el laboratorio tradicional, estructurado, convergente o tipo “receta de cocina”, verificativo.
	El laboratorio experimental	Es abierto, inductivo, orientado al descubrimiento, con proyecto no estructurado, se aborda un problema que rete al estudiante y que sea resoluble dentro de las posibilidades materiales del laboratorio.
	El laboratorio divergente	Es una fusión entre el laboratorio académico y el experimental; se maneja una información básica general para todos los estudiantes y el resto se deja de manera abierta con varias posibilidades de solución.

El estilo expositivo del laboratorio se puede considerar equivalente al laboratorio programado y al laboratorio formal, los cuales son inadecuados para el aprendizaje de la estructura sintáctica de las ciencias. Particularmente, las investigaciones realizadas sobre el *enfoque por descubrimiento*, popularizado en los años sesenta, han revelado que el mismo resultó un fracaso, por su fuerte arraigo inductivista, que ha recibido muchas críticas. Hodson (1994) lo describió como “*epistemológicamente equivocado, psicológicamente erróneo y pedagógicamente impracticable*” (p. 302), planteamiento que encuentra su sustento teórico en el análisis realizado por Ausubel, Novak y Hanesian (1983). Asimismo, Miguens y Garrett (1991, p. 231) señalaron que “*el procedimiento de descubrimiento parece caer en la trampa inductivista de considerar la observación como objetivo y como el punto de partida del método científico*”. Por lo tanto, a la luz de estas críticas, el estilo por descubrimiento no brinda una solución didáctica adecuada en el laboratorio de ciencias, por lo que no debería considerarse como un enfoque alternativo al tradicional en la actualidad.

Los otros estilos de enseñanza son formas de abordar el laboratorio para contribuir al aprendizaje de la estructura sintáctica de las ciencias, ya

que permiten que los estudiantes realicen actividades prácticas basadas en la resolución de problemas o actividades investigativas, de una forma relativamente similar a los científicos, aunque no igual. Por una parte, el *laboratorio con énfasis en la estructura del experimento* puede considerarse equivalente al laboratorio con orientación investigadora presentada por algunos autores (De Jong, 1998; Gil Pérez y Valdés Castro, 1995, 1996; Herman, 1998; Hodson, 1992), y al cual se le ha denominado también enfoque investigativo (Flores y Arias, 1999). Por otra parte, tanto el enfoque investigativo como el enfoque epistemológico permiten resolver problemas en el contexto del laboratorio.

El *enfoque investigativo*² (Gil Pérez y Valdés Castro, 1996), puede abordarse desde una modalidad guiada hasta una abierta, dependiendo del grado de orientación que brinde el docente a los estudiantes (Velázquez, 2007), mientras que el *enfoque epistemológico*, propuesto por Novak y Gowin (1988) y reseñado por Moreira y Levandowski (1983), permite un abordaje holista e integral de un problema relacionado con algún evento u objeto. Ambos estilos permiten abordar la resolución de un problema a través de un trabajo de investigación abierto dentro del alcance del estudiante y orientación relativa del docente, para así involucrarse en los procesos propios de la actividad científica. De acuerdo con Caamaño (2005), la resolución de problemas se realiza a través de investigaciones de dos tipos: (a) investigaciones para resolver problemas teóricos y (b) investigaciones para resolver problemas prácticos. En este contexto, Andrés (2002) ha denominado a este estilo didáctico *el laboratorio como proceso de construcción de conocimiento*, en contraste con el estilo por descubrimiento.

² El término “enfoque epistemológico” es usado por Moreira y Levandowski (1983, p. 99), quienes lo describen como un abordaje de la enseñanza del laboratorio que intenta reflejar cómo se produce el conocimiento, relacionando los elementos involucrados en el proceso de investigación (pregunta básica, fenómeno u objeto de interés, método, conceptos claves, etc.) a través de la herramienta heurística V de Gowin. En este trabajo de investigación el término “enfoque” particularmente se puede enriquecer de acuerdo con la descripción dada por Martínez Miguélez (1999, p. 92) como “una perspectiva personal, un abordaje, o una aproximación ideológica, un punto de vista desde una situación personal, que no sugiere ni la universalidad de la objetividad ni los prejuicios personales de la subjetividad; sólo la propia apreciación”.

Desde una perspectiva histórica general acerca de los enfoques o estilos instruccionales que se han desarrollado hasta el presente en el laboratorio de enseñanza de las ciencias, se pudiera interpretar la evolución de los mismos en cinco etapas de acuerdo con lo que se reporta en la literatura: (a) énfasis en el cuerpo de conocimientos de las ciencias; (b) énfasis en los procesos de descubrimiento; (c) énfasis en los procesos y procedimientos de las ciencias; (d) énfasis en los procesos constructivistas de los estudiantes y (e) énfasis en los procesos de enculturación, más allá del constructivismo (Barberá y Valdés , 1996; Hodson, 1996; Hodson s/f).

A pesar de que todos estos enfoques generales tienen sus críticas, es necesario tomar en cuenta que el trabajo práctico de laboratorio, implica un intrincado mundo de relaciones relativamente dinámicas entre lo teórico y lo metodológico, dependiendo del tipo de enfoque dado. Tal dinamismo cognitivo es necesario especialmente cuando el trabajo práctico está orientado hacia la resolución de problemas, hacia una perspectiva investigativa, hacia trabajos abiertos para emular el quehacer científico, que es en sí una actividad integral y holística, como lo plantea Hodson (1994).

En general, es necesario profundizar en investigaciones sobre estilos didácticos en el laboratorio, para así conocer su verdadero aporte sobre resultados específicos de aprendizaje en el área de Química.

La efectividad del trabajo de laboratorio

Por una parte, las investigaciones desarrolladas particularmente sobre *el enfoque tradicional*, tipo “receta de cocina”, han revelado poco beneficio para los estudiantes y una sobreestimación de su potencial didáctico, según Barberá y Valdés (1996). Estos autores señalan que el estilo de enseñanza tradicional del laboratorio en ciencias no ha generado resultados exitosos en cuanto a los siguientes aspectos: (a) el logro de un conocimiento y desarrollo de algunas competencias requeridas para la adquisición y fijación de las ideas y conceptos científicos; (b) los efectos esperados en lo concerniente al desarrollo de destrezas técnicas para lo

cual ha habido mayor consenso; y (c) el manejo de los procesos de la ciencia, tanto en lo relativo a identificar y plantear problemas o diseñar experiencias, como en el establecimiento de hipótesis, o derivación de predicciones particulares.

Estas limitaciones del enfoque tradicional pudieran estar asociadas al papel pasivo que desempeña el estudiante, en virtud de que su rol está circunscrito a la aplicación de un procedimiento dado, esperando obtener resultados “correctos” ya predeterminados, por lo que queda poco lugar para su imaginación, creatividad y desafíos cognitivos. Esta situación desalentadora condujo a Pickering (1993) a sugerir, en su momento, que se debía tomar una de las siguientes decisiones: (a) continuar con la enseñanza del laboratorio de la manera como lo habíamos venido haciendo; (b) eliminar la enseñanza del laboratorio, excepto para los estudiantes que pretenden ser científicos; o (c) intentar mejorar la enseñanza del laboratorio en general. Afortunadamente, se ha continuado investigando acerca de esta problemática en la mayoría de los países para mejorar la enseñanza y aprendizaje del laboratorio.

Una posible explicación de las pocas ventajas que se le han atribuido a los trabajos prácticos radica en seis razones (Hodson, 2005): (a) no se discriminan los tipos de “trabajos prácticos”, porque se colocan todos en una misma categoría; (b) el trabajo práctico generalmente es pobremente diseñado y ejecutado; (c) la retórica de los docentes no se corresponde con su práctica; (d) los estudiantes no atienden las instrucciones de los docentes en la forma que se espera; (e) el trabajo práctico no siempre resulta de la manera esperada, dando así resultados erróneos o ningún resultado; y (f) la evaluación se hace sobre aspectos menos importantes de la actividad.

Además, muchas investigaciones realizadas con relación a la efectividad de los trabajos de laboratorio han sido muy cuestionadas por ser metodológicamente confusas, generando pocos resultados concluyentes (Hodson, 1994; Barberá y Valdés, 1996; Domin, 1999; Tenreiro-Vieira y Vieira, 2006). Esto podría atribuírsele, en gran parte, al limitado enfoque cuantitativo con el que se desarrollaron (Domin, 1999) y a la falta de

consenso sobre los objetivos de los trabajos de laboratorio.

Aunque muchas de estas investigaciones se han analizado bajo el paradigma cuantitativo, como lo han señalado Hofstein y Lunetta (1982), es posible que estas contradicciones sean esclarecidas con la inclusión de variables involucradas no consideradas y/o estudios cualitativos pertinentes. Además, otro aspecto que no se debe obviar es el hecho de que los instrumentos de medición utilizados en muchas investigaciones también han presentado limitaciones para medir lo que se ha pretendido en el laboratorio de enseñanza de las ciencias (Hofstein, 2004).

En este sentido, llama la atención que las investigaciones en el área específica de enseñanza de la Química han sido particularmente controversiales, de acuerdo con Domin (1999), quien plantea que en un meta-análisis realizado con estudios seleccionados que tenían una metodología adecuada entre 1970 y 1994, se encontró que los estudiantes del grupo de Química, a diferencia de los de Física y Geología, tratados con enfoques alternativos, no mostraron un mejoramiento significativo en el aprendizaje cognitivo en comparación con el grupo tratado con un enfoque tradicional.

Al respecto, cabe señalar que algunas investigaciones realizadas particularmente en Venezuela han contribuido en alguna medida a revelar que los estilos alternativos de enseñanza del laboratorio favorecen el aprendizaje en el laboratorio. Entre estos trabajos están los de Andrés, Meneses y Pesa (2007), Blanco (2001), Flores (2004), Franco de Duque (2000), Quezada (2006), Sanabria y Ramírez (2004) y Velázquez (2007), todos orientados hacia la resolución de problemas a través de enfoques didácticos más acordes con la naturaleza de la actividad científica.

Hasta los momentos se puede decir que la mayoría de las investigaciones apoyan las ventajas de los estilos o enfoques alternativos al tradicional (excepto el método por descubrimiento), aunque es necesario indagar sobre aspectos más específicos que permitan dilucidar la relación entre los diferentes enfoques y resultados particulares de aprendizaje. Por ejemplo, se ha reportado que no hay resultados conclusivos en cuanto a

la relación entre la realización del trabajo experimental y el aprendizaje significativo de los estudiantes (Saraiva-Neves, Caballero y Moreira, 2007), por lo que es un asunto abierto a la investigación en la actualidad; sin embargo, Tobin (citado en Hofstein, 2004) señala, al respecto, que el aprendizaje significativo es posible en el laboratorio si los estudiantes construyen su conocimiento de los fenómenos.

En este sentido, Caballero (2003) señala la utilidad de la teoría ausubeliana en la interpretación del aprendizaje significativo en el laboratorio a través de la resolución de problemas, considerando la integración del conocimiento declarativo y el procedimental, aunque es poco el uso que se le ha dado en este ambiente de aprendizaje. Esta teoría, enriquecida por los aportes actuales de diferentes autores, puede ser vista a la luz de la psicología cognitiva actual (Rodríguez, 2008), brindando un referente interpretativo amplio y consistente. Un intento en esta dirección ha sido el trabajo de Velásquez (2007) en el área de Química y el de Andrés, Meneses y Pesa (2007) en Venezuela.

En este punto vale la pena considerar los avances del trabajo de Séré (2002b), en el que se señala que en el trabajo de laboratorio no es importante solo el “hacer” sino también el “aprender a hacer”, lo cual implica el uso de conocimiento conceptual y procedimental para el logro de objetivos específicos, por lo que hay que asignarle nuevos roles al conocimiento conceptual, darle importancia a los procedimientos para generar autonomía y ponerle atención al desarrollo progresivo de la imagen de la ciencia. Este último aspecto se abordará en la siguiente sección.

Concepciones sobre la naturaleza de la ciencia

La enseñanza tradicional del laboratorio ha conducido a una comprensión inadecuada de la naturaleza de la ciencia, debido a que se ha basado en una concepción empírico-inductivista del “método científico”, derivada del positivismo baconiano, entendido como un proceso de pasos característicos casi mecánicos de la actividad científica: observación y

experimento, generalización inductiva, hipótesis, verificación, prueba y contraprueba y conocimiento objetivo, lo cual se asocia a una creciente objetividad y neutralidad conceptual del científico, como lo indica Cawthron y Rowell (citados en Kirschner, 1992). Esto difiere del *pensamiento científico* per se, entendido como la habilidad para resolver problemas, comprender los métodos experimentales, organizar e interpretar datos, comprender la relación datos con la solución del problema, planificar experimentos para contrastar una hipótesis y realizar generalizaciones y asunciones, como lo expresa Burmester (citado en Kirschner, 1992).

En una revisión realizada por Fernández, Gil y Carrascosa (2002) se muestran algunas concepciones sobre la naturaleza de la ciencia que se han encontrado en diversas investigaciones y que han contribuido con el desarrollo de una visión deformada, simplista e ingenua de la misma. Estas concepciones se especifican a continuación: (a) concepción empírico-inductivista y ateorica de la ciencia, ya que se le atribuye neutralidad a la observación y a la experimentación; (b) concepción rígida de la actividad científica en cuanto a que se percibe como algorítmica, dogmática, exacta e infalible, concepción derivada de la presentación tradicional del “método científico” en la experimentación rigurosa y cuantitativa en el laboratorio; (c) concepción aproblemática y ahistórica de la ciencia por la presentación de contenidos acabados sin planteamientos críticos sobre sus orígenes y construcción; (d) concepción exclusivamente analítica del conocimiento, derivada de su parcelamiento de otras áreas a las cuales se integra; (e) concepción acumulativa del desarrollo científico, que se percibe como un crecimiento lineal sin situaciones conflictivas inherentes al mismo; (f) concepción individualista y elitista de la ciencia, que reconoce el trabajo de individuos con características peculiares, principalmente de sexo masculino, y no un trabajo constructivo social; (g) concepción socialmente neutra de la actividad científica, que obvia las relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad.

Estas concepciones pueden derivarse en parte por medio de los libros de texto. Un estudio interesante realizado con libros de texto de Química en Venezuela reveló que la categoría de prosa que predomina en los mismos es la de “conocimiento en ciencia” y que hay una muy escasa

presentación de evidencias experimentales, por lo que las explicaciones se limitan mayormente a dar a conocer los logros de la ciencia sin mayor referencia a cómo se logró (Malaver, Pujol y D'Alessandro, 2003). Este tipo de información disponible en los textos contribuye a tergiversar la imagen de la ciencia.

En otro estudio realizado por Moreira y Ostermann (1993) en libros de textos, se reportan las concepciones erróneas encontradas sobre el “método científico”, las cuales están en correspondencia con lo antes señalado por Fernández, Gil y Carrascosa (2002). Al respecto, Toulmin (2003) señala que el “método científico” ha sido tergiversado de su significado original; sin embargo, el dogmatismo en el que se ha caído con relación a la concepción de un método único ha sido rechazado en general, aunque muchos se han acogido a una posición relativista extrema en la que todo vale desde el punto de vista metodológico y conceptual, cayéndose igualmente en una concepción inadecuada de la ciencia, según Fernández, Gil y Carrascosa (2002).

Ahora bien, aunque se han realizado muchos estudios con relación a la naturaleza de la ciencia, no se tiene claro qué aspectos de la misma deben considerarse en el campo de la enseñanza, de acuerdo con lo que plantea Acevedo Díaz (2008), quien señala que esto se debe en parte a la falta de consenso en lo que se entiende propiamente por *naturaleza de la ciencia* en la actualidad, ya que existen dos tendencias sobre su acepción: una que la asume como epistemología de la ciencia, referida a las características del conocimiento científico; y otra que la asume como aspectos relacionados con la sociología externa e interna de la ciencia, de acuerdo con la propuesta del movimiento Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS). La primera acepción se corresponde con la descripción de Hammer (citado en Campanario y Moya, 1999): “las concepciones epistemológicas se refieren a las ideas del conocimiento en general, o en nuestro caso, acerca del conocimiento científico: cómo se estructura, cómo evoluciona y cómo se produce” (p. 179).

Sin embargo, algunos consensos acerca de la naturaleza de la ciencia se han reportado recientemente sobre los fundamentos de

una investigación empírica, aspectos epistemológicos y la comunidad tecnocientífica (Acevedo Díaz, 2008; Acevedo-Díaz, Vásquez-Alonso, Manassero-Mas, y Acevedo-Romero, 2007a, 2007b). Estos acuerdos permitirán orientar una práctica docente más adecuada y el desarrollo de investigaciones más productivas en esta área.

Particularmente, Séré (2002b) plantea que hace falta conocer la manera cómo los estudiantes construyen progresivamente su propia imagen de la ciencia a través de las tareas que desarrollan en el trabajo práctico. Asimismo, diversas investigaciones sugieren realizar adaptaciones en el laboratorio para lograr objetivos epistemológicos específicos en contextos particulares, en virtud de que el conocimiento epistemológico de los estudiantes es dependiente de contextos específicos (Séré, 2002a, 2002b). En los inicios del siglo XXI esto se ha constituido en una línea de investigación en desarrollo a nivel internacional.

Actualmente, se recomienda que tal enseñanza ocurra en un ambiente de aprendizaje que refleje los procedimientos de la ciencia, la indagación científica, como contexto adecuado (Acevedo, 2008) y que las ideas epistemológicas sean explicitadas reflexivamente (Akerson, Abd-El-Khalik, y Lederman, 2000; Hodson, 1994). En este sentido, la enseñanza tradicional del laboratorio de ciencias, a través de prácticas tipo “receta de cocina”, dista de proveer este tipo de ambiente, además del hecho de que tergiversa la naturaleza esencial de la investigación científica por la concepción empírico-inductivista con la que se le asocia, situación reportada desde hace varias décadas (Hofstein y Lunetta, 1982) y en trabajos posteriores (Fernández, Gil y Carrascosa, 2002; Moreira y Ostermann, 1993).

Sin embargo, aunque es necesario un ambiente didáctico que muestre lo mejor posible la actividad científica, también es cierto que la comprensión de la naturaleza de la ciencia no ocurre de manera espontánea, sino que se requiere de la explicitación reflexiva de las ideas epistemológicas ocultas (Acevedo Díaz, 2008; Hodson, 1994; Lederman, 2006). Hodson (1994) plantea que “... si pretendemos que los estudiantes practiquen la ciencia con algún sentido, necesitamos un modelo de ciencia

filosóficamente válido” (p. 308). Al respecto, considera cuatro fases básicas y útiles para enseñar sobre su naturaleza, pero que son inseparables en la práctica de la misma, la cual requiere de la aplicación de conocimientos teóricos, por lo que se debe concebir como un proceso holístico, dinámico e interactivo; tales fases son: (a) diseño y planificación, (b) realización práctica para la recolección de datos, (c) reflexión para evaluar los hallazgos y (d) registro y elaboración de informe para la comunicación respectiva. De este modo, la tríada dinámica *contexto indagativo-explicitación-reflexión* se puede considerar la base para una acción didáctica constructivista como escenario apropiado para el desarrollo de investigaciones sobre el proceso de formación de ideas acerca de la naturaleza de la ciencia, particularmente la investigación científica.

Al respecto, Lederman (2006) ha planteado varias preguntas útiles para orientar investigaciones futuras en esta área, algunas de las cuales son: (a) ¿Cuál es la influencia de nuestra visión del mundo en las concepciones de la naturaleza de las ciencias?, (b) ¿Cuál es la efectividad relativa de las diversas intervenciones diseñadas para mejorar las concepciones de los profesores y estudiantes?, (c) ¿Se aprende mejor la naturaleza de la ciencia, si se enseña dentro de un contenido tradicional o como un tópico separado? y (d) ¿El aprendizaje de la naturaleza de la ciencia mejora el aprendizaje de otros contenidos de la disciplina científica?

Un aspecto importante de considerar para efectos investigativos es el hecho de que las ciencias experimentales tienen características muy particulares por la naturaleza de sus propios objetos de estudio, razón por la cual algunos prefieren hablar de *naturaleza de las ciencias* y no de *naturaleza de la ciencia* (Acevedo Díaz, 2008). En el caso particular de la Química, ha surgido la epistemología de esta ciencia; sus avances se reportan desde 1995 en la revista *HYLE-International Journal for Philosophy of Chemistry*. Esto abre expectativas con relación al análisis de aspectos epistemológicos de la Química que puedan ser útiles para estudiar el problema de las concepciones sobre la naturaleza de esta ciencia, de manera integrada con las concepciones que se desarrollan sobre la naturaleza de la ciencia en general.

Es importante señalar que las concepciones inadecuadas sobre la ciencia también se han observado en docentes en formación del área científica, tal es el caso del Instituto Pedagógico de Caracas, Venezuela, como lo revelan los trabajos de Andrés, Pesa y Meneses (2006); Flores (2007b) y Pérez, Ascanio y Añez (2002). Esto implica que nuestra acción didáctica debe ir acompañada de una visión apropiada de la naturaleza de la ciencia, considerando enfoques constructivistas para el abordaje del laboratorio, uno de los cuales se abordará a continuación.

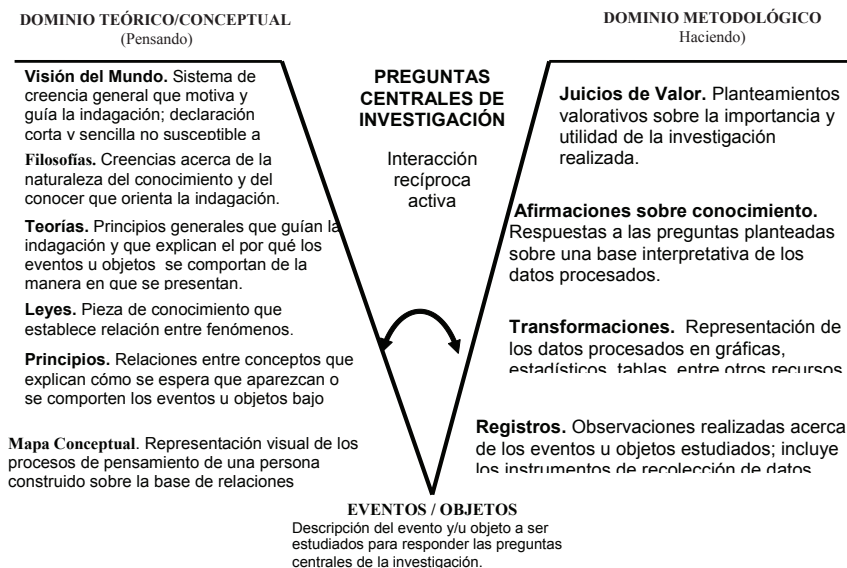
La enseñanza del laboratorio de ciencias con un enfoque epistemológico

Entre los enfoques alternativos de la enseñanza del laboratorio de ciencias está el enfoque epistemológico. Éste se basa en el uso de la V de Gowin³ (V epistemológica, V heurística o diagrama V), como herramienta heurística, útil para guiar la integración interactiva de aspectos teóricos y metodológicos en la búsqueda de respuestas a situaciones problemáticas. Esta correspondencia con el quehacer científico permite entender: (a) las interrelaciones entre lo que se conoce y lo que se necesita conocer; (b) las relaciones significativas entre eventos, procesos u objetos; (c) la estructura del conocimiento en sus elementos como un todo; y (d) las relaciones entre el pensamiento y las actividades en el trabajo experimental (Gowin y Álvarez, 2005).

El enfoque epistemológico implica el uso del diagrama V, que permite integrar aspectos teóricos, metodológicos y epistemológicos en situaciones problemáticas en el laboratorio, además de integrar los mapas conceptuales dentro del proceso constructivo (Moreira y Levandowski, 1983 ; Sansón Ortega, González Muradás, Montagut Bosque y Navarro León, 2005), los cuales son útiles en el aprendizaje significativo (Novak y Cañas, 2006). Sus elementos se muestran a continuación (Novak y Gowin, 1988, p. 77):

3 Esta herramienta fue propuesta por Gowin en 1977 con dos vertientes explícitas: la teórica y la metodológica. Aunque la dimensión afectiva está implícita en el diagrama V, la misma fue propuesta de manera explícita (G. Rodríguez Palmero y Ma. Rodríguez Palmero, s/f).

Figura 1. Diagrama V mostrando sus elementos interactivos involucrados en la construcción del conocimiento.



La idea fundamental del uso de este diagrama es la interacción dinámica que debe ocurrir entre el lado teórico/conceptual y el metodológico para darle respuesta a la pregunta central realizada sobre un evento u objeto de interés (Gowin y Álvarez, 2005); en otras palabras, todos los elementos de ambos lados o dominios del diagrama V se deben integrar para el desarrollo de un proceso activo entre pensamiento y acción en la búsqueda de respuestas a problemas planteados.

Aunque los diagramas V se usan también en otros contextos, son útiles particularmente en investigaciones realizadas en el laboratorio con fines de enseñanza, como lo señala el mismo autor (Novak y Gowin, 1988, p.137): “los diagramas V ayudan a organizar ideas, a actuar (por ejemplo en el laboratorio) de un modo más eficaz y productivo, ya que los estudiantes se sienten mejor consigo mismos porque comprenden lo que están haciendo”. Moreira (2006) considera que estos diagramas permiten destacar aspectos epistemológicos que desmistifican la producción del conocimiento. A continuación se resume algunos usos de los diagramas V:

Tabla 1. Algunas investigaciones recientes sobre el uso de la V de Gowin

AUTOR(ES)(AÑO)	USO
Salcedo (1997)	En evaluación del rendimiento estudiantil junto con los mapas conceptuales en postgrado como alternativa a estrategias tradicionales.
Escudero y Moreira (1999)	En el análisis epistemológico de 4 enfoques sobre resolución de problemas en Física.
Blanco (2001)	Como estrategia de aprendizaje en el laboratorio de Química de noveno grado de Educación Básica.
García, Insausti y Merino (2003)	En evaluación complementaria de trabajos prácticos dirigidos como pequeñas investigaciones en trabajos experimentales abiertos en Física.
Sanabria y Ramírez (2004)	En experiencia de aprendizaje junto con mapas de conceptos tanto en teoría como en el laboratorio en Física.
Hernández y Bello (2005)	En evaluación de trabajos experimentales en Química Inorgánica con la V de Gowin indicando resultados en cada elemento del diagrama.
Sansón, González, Montagut y Navarro (2005)	Como estrategia junto con los mapas conceptuales para favorecer el aprendizaje experimental en Química General.
Ruiz, Azuaje y Ruiz (2005)	Como estrategia para producir textos escritos sobre el trabajo experimental de las clases de ciencias en forma de reportes científicos en Educación Básica.
Sanabria, Ramírez y Aspeé (2006)	En el diseño de una estrategia instruccional usando la V de Gowin para el laboratorio de Física.
Chamizo e Izquierdo (2007)	En la evaluación de competencias científicas en Química.

El enfoque epistemológico integra constructivamente la V de Gowin y los mapas conceptuales, útiles para la evaluación progresiva del proceso de aprendizaje, siendo potencialmente reveladores del proceso integrador del conocimiento. Por una parte, la V epistemológica integra

los aspectos hodsonianos referidos a aprender ciencia, aprender sobre ciencia y aprender a hacer ciencia, de manera dinámica e interdependiente desde la perspectiva del trabajo de laboratorio en situaciones disciplinares específicas; por otra parte, los mapas conceptuales son más útiles que un simple listado de conceptos (Moreira y Levandowski, 1983), ya que su construcción requiere de la relación significativa entre conceptos dentro de un contexto específico (Novak, 1997).

Según Gowin y Álvarez (2005, p. 35), “el diagrama V fue desarrollado como una manera de ayudar en el entendimiento de relaciones significativas entre eventos, procesos u objetos. Es una herramienta que ayuda a observar la interacción entre lo que se conoce y lo que se necesita saber o entender”⁴. Moreira y Levandowski (1983) señalan que el enfoque epistemológico del laboratorio se basa en la estructura del conocimiento en el contexto del laboratorio, lo cual lleva implícito tanto el desarrollo de habilidades, hábitos y manejo de instrumentos, así como el aprendizaje de conceptos, leyes, relaciones y principios, sin limitarse a los mismos.

El uso del diagrama V se ha recomendado en el laboratorio de ciencias desde hace tres décadas (Novak, 1979; Novak y Gowin, 1988; Tamir, 1989). Particularmente en Venezuela se reportan resultados favorables con el uso de la V de Gowin en el laboratorio (Andrés, Meneses y Pesa, 2007; Blanco, 2001; Flores, 2004, 2007a, 2008; Sanabria y Ramírez, 2004). Esta herramienta se ha incorporado en el laboratorio de Bioquímica del Instituto Pedagógico de Caracas desde hace aproximadamente una década, constituyendo hoy una línea de investigación en desarrollo.

⁴ The V diagram was developed as a way to aid in the understanding of meaningful relationships among events, processes, or objects. It is a tool that helps one to observe the interplay between what is known and what needs to be known or understood.

Evaluando con diagramas V y mapas conceptuales

El logro y progreso de los estudiantes que desarrollan trabajos de laboratorio concebidos desde el punto de vista indagativo, es de particular interés y es un asunto no resuelto en la actualidad (Hofstein, 2004). Cuando el trabajo práctico de laboratorio se asume como una oportunidad de enseñar, lo más próximo posible, la actividad científica como un proceso holista en la que la capacidad del científico integra sus conocimientos teóricos y metodológicos para reducir la incertidumbre concerniente a un problema que desea resolver, entonces es necesario usar instrumentos de evaluación pertinentes para determinar el logro de este tipo de objetivos, en lo que la simple evaluación de papel y lápiz no parece ser lo más indicado, además del hecho de que no todo lo que ocurre en el laboratorio puede ser evaluado de manera cuantitativamente medible, aunque sí se pueda emitir un juicio al respecto (Barberá y Valdés, 1996).

Esto conduce a proponer alternativas de evaluación cónsonas con los objetivos que se pretenden lograr a través del trabajo práctico de laboratorio y evitar así la larga historia de contradicciones e incertidumbres que se han generado sobre el verdadero valor que pueda tener el trabajo práctico de laboratorio. En este sentido, los mapas conceptuales y el diagrama V son alternativas para realizar evaluaciones que involucran procesos, especialmente cuando se hace un seguimiento.

Los **mapas conceptuales** son un recurso, estrategia, instrumento, método, herramienta o técnica de aprendizaje de naturaleza heurística y metacognoscitiva que permiten la organización de la información (Moreira, 2006; Moreira y Buchweitz, 1987; Novak y Gowin, 1988). Son diagramas bidimensionales de conceptos relacionados y organizados de forma jerárquica que muestran la estructura conceptual de un conocimiento sobre un tema, tópico, libro, artículo u otra fuente (Moreira y Buchweitz, 1987; Novak y Gowin, 1988). Contienen elementos conceptuales y estructurales, en general.

Los elementos conceptuales responden a criterios o principios ausubelianos como: (a) *jerarquía conceptual*, que refleja un ordenamiento de los conceptos desde los más inclusivos hasta los más exclusivos o específicos como los ejemplos; (b) *relaciones conceptuales subordinadas*, que forman ramificaciones de conceptos que reflejan la diferenciación progresiva de arriba hacia abajo; (c) *relaciones conceptuales supraordinadas*, que reflejan la reconciliación conceptual integradora; y (d) *relaciones conceptuales cruzadas*, que reflejan relaciones horizontales entre conceptos de diferentes ramificaciones del mapa que implican relaciones combinatorias entre ellos.

Los elementos estructurales de un mapa conceptual son los que se refieren a aspectos que ayudan a darle sentido gráfico al diagrama y son los siguientes: (a) conectores o líneas de enlace, que permiten la unión gráfica entre dos conceptos; (b) descriptores o palabras de enlace, que permiten describir la naturaleza de una relación semántica entre dos conceptos para formar una proposición; (c) figuras geométricas (óvalos, rectángulos o cuadrados) que encierran a los conceptos; y en algunos casos (d) figuras o dibujos que ilustran conceptos o relaciones entre ellos. Además de esto, los mapas conceptuales se caracterizan por tener un impacto visual.

La **V de Gowin**, explicada en la sección anterior, es una técnica heurística y es útil para la comprensión y la producción de conocimiento. Se usa en el análisis de artículos científicos, evaluación, investigación científica, trabajos de laboratorio en ciencias, comprensión de textos expositivos y análisis curricular. Aunque Novak y Gowin (1988) sugirieron inicialmente un método de puntuación para diagramas V y mapas conceptuales, existen varias propuestas diferentes, como se aprecia a continuación:

Tabla 2. Algunos aportes sobre evaluación con la V de Gowin

AUTOR(ES)(AÑO)	APORTES
Novak y Gowin (1988)	Se propuso la evaluación de cada elemento de la V con una escala del 0 al 3 ó 4, aclarando la arbitrariedad de la misma y sugiriendo otras alternativas para escalas hasta 20 ó 100 debido a la familiaridad de los estudiantes con las mismas.
García Sastre, Insausti y Merino (2003)	Se valoró cada elemento del diagrama V con un puntaje de 10 para cada uno, siendo la puntuación total la sumatoria de estos puntajes para definir la nota, la cual se usó para fines comparativos por medio de cálculos estadísticos.
Sanabria y Ramírez (2004)	Se usó solamente en evaluación cualitativa.
Hernández Millán y Bello Garcés (2005)	Se hizo una evaluación netamente cualitativa de la V en el laboratorio
Sansón, González, Montagut y Navarro (2005)	Se evaluaron los diagramas V de manera cualitativa.
Chamizo e Izquierdo (2007)	Se hizo una valoración por aspecto en una escala del 0 al 3, desde la ausencia del mismo hasta su presencia en un nivel alto de correspondencia integrativa.

Tabla 3. Algunos aportes sobre evaluación con mapas conceptuales

AUTOR(ES) (Año)	APORTES
Novak y Gowin (1988)	Se propone un criterio de puntuación: 1 punto por proposición, 5 por cada nivel jerárquico, 10 por conexiones cruzadas creativas, 1 por cada ejemplo; la suma de los puntajes obtenidos es la puntuación total.
Ruiz-Primo y Shavelson (1996)	Se hace una revisión sobre los problemas y uso de los mapas conceptuales como herramientas evaluativa. Existe variación en la tarea, formato y sistema de puntuación de los MC, por lo que pueden emerger múltiples formas del mismo y de su medición, pero todas pretenden medir la estructura cognitiva del estudiante en un dominio específico. Se requiere una teoría sobre la evaluación de MC; su confiabilidad es un punto en cuestión.

AUTOR(ES) (Año)	APORTES
Salcedo (1997)	Se plantea la falta de datos suficientes para el uso de los MC como instrumentos evaluativos en términos de su validez y confiabilidad, considerando el contexto teórico que los apoya desde la psicología cognitiva y desde la epistemología constructivista, por lo que sugiere técnicas de análisis cualitativo y cuantitativo para su evaluación de manera complementaria, según el caso.
McClure, Sonak y Suen (1999)	Se investigó sobre la correlación entre evaluadores de MC usando 6 técnicas diferentes de evaluación, entre ellos el estructural y el holístico: el primero provee más guía para evaluar y el segundo es más complejo. Encontraron que la selección del método de evaluación puede afectar la confiabilidad de la puntuación, resultando más confiable el método denominado relacional con MC master (análisis proposicional con 4 niveles de puntuación: 0, 1, 2 y 3).
Ruiz-Primo (2000)	Se presenta una revisión del status de los MC como herramientas evaluativas hasta la fecha. Reporta inconsistencias en resultados de correlación entre los MC y las pruebas de respuesta múltiple. Varias preguntas quedan por responderse.
Ruiz-Primo (2004)	Se provee una perspectiva cualitativa de la evaluación de MC; señala que hay asuntos que resolver antes de concluir sobre la validez y confiabilidad de los MC para evaluar la comprensión conectada de los estudiantes; diferentes técnicas conducen a conclusiones diferentes sobre el conocimiento del estudiante.
Yin, Vanides, Ruiz-Primo, Ayala y Shavelson (2005)	Se examinaron dos técnicas de elaboración de MC, uno en el que los estudiantes creaban sus propias palabras de enlace y otra en las que se le suministraban. Se compararon los productos y procesos de manera cualitativa y cuantitativa. Ambas técnicas se correlacionan de manera similar con un estándar externo; se evocan diferentes respuestas y representación del conocimiento declarativo del estudiante. La primera técnica es más difícil de evaluar pero es más efectiva para capturar el conocimiento conceptual y la estructura del conocimiento.

Una de las ventajas de trabajar con la V heurística y los mapas conceptuales, es el hecho de que estos procesadores de información pueden funcionar como herramientas de aprendizaje y evaluativas. Cuando se usan como instrumentos de evaluación es necesario que los estudiantes dominen la técnica de elaboración de los mismos, pero, además de esto, debe tenerse en cuenta una técnica de evaluación para los mismos. Sin embargo, se debe considerar una forma definida para evaluar los diagramas V y los mapas conceptuales cuando se usan con fines calificativos o de análisis, así como tener presente que la evaluación es un proceso integral y no una mera medición de aspectos.

A MANERA DE CONCLUSIÓN

En general, surge la necesidad de cuestionar nuestra práctica tradicional sobre el abordaje del laboratorio de ciencias, particularmente el de Química, en virtud de que su potencial didáctico es muy limitado y conduce a una tergiversación de la naturaleza de la ciencia. El laboratorio brinda una oportunidad para integrar aspectos conceptuales, procedimentales y epistemológicos dentro de enfoques alternativos, que pueden permitir el aprendizaje de los estudiantes con una visión constructivista a través de métodos que implican la resolución de problemas, los cuales le brindan la experiencia de involucrarse con los procesos de la ciencia y alejarse progresivamente de la concepción errónea del mal denominado y concebido “método científico”.

Un cambio en nuestra práctica docente en el laboratorio debe implicar esfuerzos orientados a nuevas experiencias en las que se amerita ajustar tiempo, recursos, contenidos didácticos y actitudes para darle al laboratorio el lugar que reclama en el aprendizaje de la ciencia. Al respecto, el diagrama V brinda una alternativa para abordar el trabajo de laboratorio de manera heurística, integral y holística, y una oportunidad para investigar sobre su potencial didáctico en el aprendizaje significativo,

dentro del marco interpretativo de la teoría ausubeliana, actualmente enriquecida por referentes teóricos complementarios, como la teoría del aprendizaje crítico (Moreira, 2005), la teoría de los campos conceptuales y la teoría de Vygotski (Rodríguez Palmero, 2008).

Referencias

- Acevedo Díaz, J.A. (2008). El estado actual de la naturaleza de la ciencia en la didáctica de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 5(2), pp.134-169.
- Acevedo-Díaz, J.A., Vásquez-Alonso, A., Manassero-Mas, M.A. y Acevedo-Romero, P. (2007a). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: fundamentos de una investigación empírica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4(1), pp.42-66.
- Acevedo-Díaz, J.A., Vásquez-Alonso, A., Manassero-Mas, M.A. y Acevedo-Romero, P. (2007b). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: aspectos epistemológicos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4(2), pp.202-225.
- Andrés, Ma. M. (2002). Investigación sobre la enseñanza de la Física a través del trabajo de laboratorio. En M.M. Andrés (Ed.), *Investigación en Enseñanza de la Física: Memorias de IV Escuela Latinoamericana* (pp. 293-323). Caracas: Imprenta Gerardo Toro del Instituto Pedagógico de Caracas.
- Andrés, Ma. M., Pesa, M. A. y Meneses, J. (2006). La actividad experimental en Física: visión de estudiantes universitarios. *Paradigma*, 27(1), 1-29).
- Andrés, Ma. M., Meneses, J. y Pesa, M. (2007). Efectividad metacognitiva de la heurística V de Gowin en trabajos de laboratorio centrados en la resolución de problemas de situaciones problemáticas. *Indivisa, Boletín de Estudios e Investigación, Monografía VIII*, 203-215.
- Akerson, V.L., Abd-El-Khalik, F. y Lederman, N.G. (2000) Influence of a reflective explicit activity-based approach on elementary teacher's conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(4), 295-317.

- Ausubel, D., Novak, J. y Hanesian, L. (1983). *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo*. (2a. ed.). México: Editorial Trillas.
- Barberá, O. y Valdés, P. (1996). El trabajo práctico en la enseñanza de las ciencias: una revisión. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(3), 365-379.
- Blanco, V. (2001). *La V de Gowin y las interacciones cooperativas: su influencia sobre el aprendizaje en el laboratorio de Química en estudiantes de noveno grado*. Trabajo de grado de maestría no publicada, Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Caracas, Caracas.
- Brock, W. H. (1998). *Historia de la Química*. Madrid: Alianza Editorial, S.A.
- Caamaño, A. (2004). Experiencias, experimentos ilustrativos, ejercicios prácticos e investigaciones: ¿una clasificación útil de los trabajos prácticos? *Alambique – Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 39, 8-19.
- Caamaño, A. (2005). *Trabajos prácticos investigativos en química en relación con el método atómico-molecular de la materia, planificados mediante un diálogo estructurado entre profesor y estudiantes*. [Documento en línea] Disponible: http://garritz.com/educación_química/161_caam.pdf [Consulta: 2008, Octubre 4]
- Caballero, M. C. (2003). La progresividad del aprendizaje significativo de conceptos. *Actas del Pidec*, 5, 137-154.
- Campanario, J.M. y Moya, A. (1999). ¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 179-192.
- Chamizo, J.A. e Izquierdo, M. (2007). Evaluación de las competencias de pensamiento científico. *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 51, 9-19.
- De Jong, O. (1998). Los experimentos que plantean problemas en las aulas de Química: dilemas y soluciones. *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (2), 305 – 314.
- Domin, D.S. (1999). A review of laboratory instruction styles. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 543-547.
- Escudero, C. y Moreira, M.A. (1999). La V epistemológica aplicada a algunos enfoques en resolución de problemas. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), 61-68.

- Fernández, I., Gil, D. y Carrascosa, J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 477-488.
- Flores, J. y Arias, H. (1999). *Hacia un enfoque investigativo del laboratorio de Química*. UPEL-IPC. Caracas, 1-7.
- Flores, J. (2004, marzo). *Enfoque epistemológico del laboratorio de Química: una propuesta integradora de contenidos*. Ponencia presentada en la XI Jornada Anual de Investigación, III Jornadas de Postgrado, Caracas.
- Flores, J. (2007a, junio). *Dos enfoques no convencionales de enseñanza del laboratorio de ciencias: una experiencia en un curso de postgrado*. Ponencia presentada en V Jornada de Docencia e Investigación del Departamento de Biología y Química, Caracas.
- Flores, J. (2007b, noviembre). *Construcción aproximativa de una visión epistemológica acerca de la naturaleza de la ciencia: un estudio de caso en el laboratorio de Bioquímica del IPC*. Ponencia presentada en XIV Jornada Anual de Investigación y V Jornada de Postgrado, Caracas.
- Flores, J. (2008, octubre). *El conocimiento teórico/conceptual y metodológico aplicado en el laboratorio de Bioquímica bajo el enfoque epistemológico: un estudio de caso de la UPEL/ IPC*. Ponencia presentada en XV Jornada Anual de Investigación y VI Jornada de Postgrado, Caracas.
- Franco de Duque, C. (2000). *Influencia de una metodología no convencional sobre el desempeño de los estudiantes en el laboratorio de Química de 9º grado*. Trabajo de grado de maestría no publicada, Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Caracas, Caracas.
- García Sastre, P., Insausti, M.J. y Merino, M. (2003). Evaluación de los trabajos prácticos mediante diagramas V. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2(1), 1-14.
- Gil Pérez, D. y Valdés Castro, P. (1995). Un ejemplo de práctica de laboratorio como actividad investigadora: segundo principio de la dinámica. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 6, 93-102.

- Gil Pérez, D. y Valdés Castro, P. (1996). La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(2), 155-163.
- Gowin, B.D. y Álvarez, M.C. (2005). *The art of educating with V diagrams*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Herman, C. (1998). Inserting an investigative dimension into introductory laboratory courses. *Journal of Chemical Education*, 75(1), 70-72.
- Hernández Millán, G. y Bello Garcés, S. (2005). La V de Gowin y la evaluación del trabajo experimental. *Enseñanza de las Ciencias, Número Extra*, VII Congreso, 1-5.
- Hodson, D. (s/f). *What counts as good science education*. [Documento en línea]. Disponible: http://openlibrary.org/b/ol21017883m/what_counts_as_good_science_education_1 [Consulta: 2005, Agosto, 9].
- Hodson, D. (1992). Redefining and reorienting practical work in school science. *Social Science Research*, 73 (264), 65 – 78.
- Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), 299-313.
- Hodson, D. (2005). Teaching and learning chemistry in the laboratory: a critical look at research. *Educación Química*, 16(1), 60-68.
- Hofstein, A. (2004). The laboratory in chemistry education: thirty years of experience with developments, implementation, and research. *Chemistry Education: Research and Practice*, 5(3), 247-264.
- Hofstein, A. y Lunetta V.N. (1982). The role of the laboratory in science teaching: neglected aspects of research. *Review of Educational Research*, 52(2), 201-217.
- Hofstein, A. y Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 52, 201-217.
- Johnstone, A.H. (1993). The development of chemistry teaching. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701-707.
- Kirschner, P.A. (1992). Epistemology, practical work y academic skills in science education. *Science Education*, 1, 273-299

- Lederman, N.G. (2006). Research on nature of science: reflections on the past, anticipations of the future. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 7(1). [Documento en línea]. Disponible en <http://www.ied.edu.hk/apfslt/> [Consulta: 2008, Septiembre 17].
- Malaver, M., Pujol, R. y D'Alessandro Martínez, A. (2007). Análisis del estilo de prosa, el enfoque Ciencia –Tecnología-Sociedad e imagen de la ciencia en textos universitarios de Química General. *Educación Química*, 14(4), 232-239.
- Miguens, M. y Garrett, R.M. (1991). Prácticas en la enseñanza de las ciencias. Problemas y posibilidades. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de Investigación y Experimentos Didácticos*, 9(3), 229-236.
- McClure, J.R., Sonak, B. y Suen, H.K. (1999). Concept map assessment of classroom learning: reliability, validity, and logistical practicality. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(4), 475-192.
- Moreira, M.A. (2005). *Aprendizaje significativo crítico*. Porto Alegre: Impresses Portão Ltda.
- Moreira, M.A. (2006). *Mapas conceituais & diagramas V*. Porto Alegre: Editorial do Autor.
- Moreira, M.A. y Buchweitz, B. (1987). *Mapas conceituais. Instrumentos didácticos, de avaliação e de análise de currículo*. São Paulo: Editora Moras.
- Moreira, M.A. y Levandowski, C.E. (1983). *Diferentes abordagens ao ensino de laboratorio*. Porto Alegre: Editora da Universidade.
- Moreira, M.A. y Ostermann, F. (1993). Sobre o ensino do método científico. *Caderno Catarinense*, 10(2), 108-117.
- Novak, J.D. (1979). Applying psychology and philosophy to the improvement of laboratory teaching. *The American Biology Teacher*, 41(8), 466-470.
- Novak, J.D. (1997). Retorno a clarificar con mapas conceptuales. En M.A. Moreira, C. Caballeros Sahelices y M.L. Rodríguez (Orgs.), *Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo* (pp. 67-84). España: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Burgos.

- Novak, J.D. y Cañas, A.J. (2006). The theory underlying concept maps and how to construct them. [Documento en línea] <http://cmap.ihmc.us/Publications/ResearchPapers/TheoryCmaps/TheoryUnderlyingConceptMaps.htm> [Consulta: 2007, Agosto 15].
- Novak, J.D. y Gowin, B. (1988). *Aprendiendo a aprender*. España: Ediciones Martínez Roca.
- Pérez, M.E., Ascanio, M.A. Añez, E. (2002). Concepciones sobre la naturaleza de la ciencia de docentes en formación. *Revista de Investigación*, 52, 87-103
- Pickering, M. (1993). The teaching laboratory through history. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 699-700.
- Quezada, T. (2006). *Efectos de una estrategia problematizante en el rendimiento académico y el desarrollo de competencias básicas, competencias tecnológicas y competencias comunicativas en los estudiantes de química de noveno grado*. Trabajo de grado de maestría no publicado, Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Caracas, Caracas.
- Rodríguez Palmero, G. y Rodríguez Palmero, Ma. L. (s/f). *Una propuesta de incorporación de la vertiente afectiva del conocimiento y del contexto en la V heurística*. [Documento en línea]. Disponible: http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol3/n3/v3_n3_a3.htm [Consulta: 2005, Agosto, 9].
- Rodríguez Palmero, Ma. Luz (2008). *La teoría del aprendizaje significativo en la perspectiva de la psicología cognitiva*. Barcelona: Ediciones Octaedro, S.L.
- Ruiz, D., Azuaje, E. y Ruiz, H. (2005). La V heurística de Gowin como estrategia para producir textos escritos sobre el trabajo experimental de las clases de ciencias. *Ágora-Trujillo*, ISSN1316-7790, Año 8 (15) [Artículo en línea]. Disponible: <http://eslared.saber.ula.ve/db/ssaber/Edocs/pubelectronics/agoratrujillo/agora15/articulo3.pdf> [Consulta: 2007, Noviembre 5].
- Ruiz-Primo, M.A. (2000). On the use of concept maps as an assessment tool in science: what we have learned so far. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 2(1), 1-24.

- Ruiz-Primo, M.A. (2004). Examining concept maps as an assessment tool. En A.J. Cañas, J.K. Novak y F.M. González (Eds.), *Proceedings of the First Conference on Concept Mapping* (pp. 1-8). Pamplona, Spain. [Documento en línea]. Disponible: <http://cmc.ihmc.us/papers/cmc/2000-036.pdf> [Consulta: 2007, Agosto 19].
- Ruiz-Primo, M.A. y Shavelson, R.J. (1996). Problems and issues in the use of concept maps in science assessment. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(6), 569-600.
- Salcedo, H. (1997). La evaluación del rendimiento estudiantil a nivel de postgrado mediante mapas conceptuales y diagramas heurísticos de Gowin: una experiencia en aprendizaje significativo. En M.A. Moreira, C. Caballeros Sahelices y M.L. Rodríguez (Orgs.), *Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Signficativo* (pp.173-182). España: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Burgos.
- Sanabria, I. y Ramírez de M., M.S. (2004). *Una estrategia de aprendizaje para integrar teoría y laboratorio de Física I mediante los mapas conceptuales y la V de Gowin* [Documento en línea]. Disponible: <http://cmc.ihmc.us/papers/cmc> [Consulta: 2005, Noviembre 29].
- Sanabria, I., Ramírez, M. y Aspeé, M. (2006) Una estrategia instruccional para el laboratorio de Física I usando la “V de Gowin”. *Revista Mexicana de Física*, 52(3), 22-25.
- Sansón Ortega, C., González Muradás, R.M., Montagut Bosque, P. y Navarro León, F. (2005). La UVE heurística de Gowin y el mapa conceptual como estrategias que favorecen el aprendizaje experimental. *Enseñanza de las Ciencias, Número Extra* (VII Congreso), 1-4.
- Saraiva-Neves, M., Caballero, C. y Moreira, M.A. (2007). Trabalho experimental no ensino de ciências: olhando o passado para melhorar no futuro (uma revisão de literatura). *Actas del PIDEC*, 9, 57-122.
- Séré, M.G. (2002a). La enseñanza en el laboratorio. ¿Qué podemos aprender en términos de conocimiento práctico y de actitudes hacia la ciencia? *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 357-368.

- Séré, M. G. (2002b). Towards renewed research questions from the outcomes of the european project labwork in science education. *Science Education*, 86, 624-644.
- Tamir, P. (1989). Teaching effectively in the laboratory. *Science Education*, 73(1), 59- 69.
- Tenreiro-Vieira, C. y Vieira, R.M. (2006). Diseño y validación de actividades de laboratorio para promover el pensamiento crítico de los alumnos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(3), 452-446.
- Toulmin, S. (2003). *Regreso a la razón*. Barcelona: Ediciones Península, S.A.
- Vásquez, A., Manassero, M.A., Acevedo, J.A. y Acevedo, P. (2007). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: la comunidad tecnocientífica. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), 331-363.
- Velázquez, B. (2007). *Influencia del enfoque investigativo sobre el aprendizaje en el laboratorio de química de 9º grado de educación básica*. Trabajo de grado de maestría no publicado, Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Caracas, Caracas.
- Yin, Y., Vanides, J., Ruiz-Primo, M.A., Ayala, C.C. y Shavelson, R.J. (2005). Comparison of two concept-mapping techniques: implications for scoring, interpretation, and use. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(2), 116-184.

