

El rol del laboratorio en el aprendizaje de la Química

Adriana Rocha y Adriana Bertelle

**Dpto. de Profesorado en Física y Química. Facultad de Ingeniería.
UNCPBA**

Avda. Del Valle 5737. Olavarría. arocha@fio.unicen.edu.ar

RESUMEN

A través de la reflexión sobre el contenido científico, tanto desde lo conceptual como desde lo epistemológico se propone discutir acerca de lo que se entiende por Ciencia, en particular por Química, cómo esta se produce, y qué significa aprender desde una postura de construcción del aprendizaje, llegando a un acuerdo sobre el rol del trabajo práctico experimental y el laboratorio.

INTRODUCCIÓN

La discusión acerca de la importancia y efectividad del laboratorio para el aprendizaje de las ciencias muchas veces se ha enfocado desde dos posiciones antagónicas. Una de ellas argumenta que la enseñanza en el laboratorio es poco efectiva y costosa, y llega así a decidir que otras estrategias pueden reemplazarla. La otra, acepta el valor intrínseco del laboratorio. Ambas encuentran sustento en diferentes grupos de investigaciones realizadas en los últimos sesenta años, sobre este tópico (Nakhleh y otros, 2002).

Desde nuestro punto de vista, el laboratorio tiene valor en sí mismo, por el tipo de aprendizajes que puede posibilitar. En el desarrollo de los apartados siguientes, se intenta justificar esta afirmación a la vez que se comentan algunas particularidades propias del desarrollo de algunas de las diferentes alternativas de trabajo experimental.

LA CIENCIA Y SU RELACIÓN CON EL CONTENIDO CIENTÍFICO DEL AULA

La ciencia se concibe hoy como un cuerpo de conocimientos en continuo cambio, no acabado, fruto de la actividad del hombre y como tal, dependiente del contexto histórico y de las posibilidades e intereses de los científicos y de la sociedad.

Se trata de un cuerpo de conocimientos que incluye no sólo los hechos, y las estructuras conceptuales, leyes, principios, teorías, modelos, que permiten interpretar la realidad, sino que comprende los procesos que conforman la metodología de trabajo que se pone en juego, como así también los, valores y

actitudes que conlleva. Ese conocimiento, no acabado, en continuo cambio, se va construyendo y en esa construcción cobran relevancia procesos que van desde las destrezas manuales y de comunicación hasta habilidades específicas de investigación, como pueden ser la identificación de problemas, la elaboración de hipótesis, el análisis de datos. También son relevantes los valores y actitudes que implica el hacer ciencia, tales como la creatividad, la curiosidad, la cultura de colaboración, el espíritu crítico, el respeto por las opiniones ajenas, el aprender a situarse como ciudadano a nivel individual y como miembro de un grupo

Los procesos, los valores y el conocimiento teórico interactúan y se interrelacionan continuamente, originando una cultura propia de la ciencia.

Si concebimos la Ciencia de esta manera, la enseñanza en las aulas no puede ser el conocimiento de un conjunto de conceptos que apunte solo al conocimiento teórico. Al conjunto de leyes, hechos y fenómenos, principios, teorías, métodos, actitudes y valores que, como se dijo, conforman el conocimiento científico, hay que adecuarlos y adaptarlos a la enseñanza en las aulas, expresándolos como contenidos de enseñanza (Figura 1). El aprendizaje en ciencias ha de ser tal que los alumnos adquieran y desarrollen el conocimiento teórico, conceptual y de los métodos de la ciencia e interpreten adecuadamente su naturaleza, siendo conscientes de las interacciones complejas entre ciencia y sociedad.

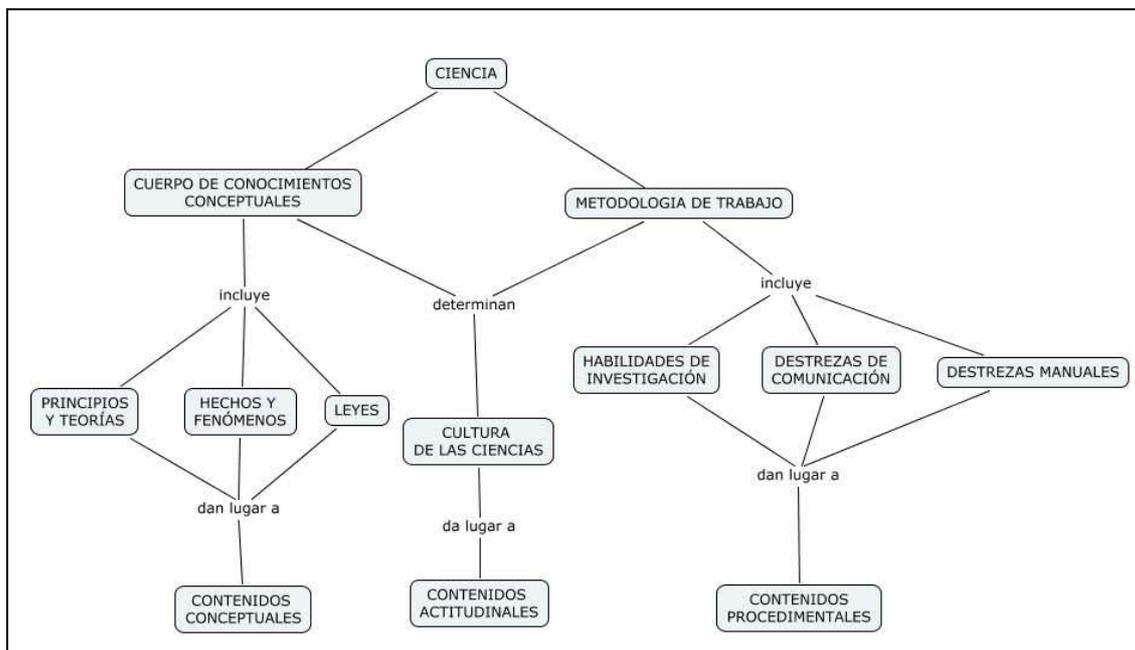


Figura 1. La ciencia y el contenido a enseñar (adaptado de Pro B. (2003))

Desde una mirada como esta es interesante analizar, para una porción de la ciencia en particular, en este caso, la Química, cuales son las principales características de ese cuerpo de conocimiento y cómo ha ido evolucionando y

construyéndose dicha porción de la ciencia en su relación con el trabajo de laboratorio.

En Química, el conocimiento empírico del comportamiento de las sustancias es una habilidad muy importante, tanto como saber formular. Ese conocimiento se completa con la interpretación de la estructura de los sistemas materiales, que permite elaborar explicaciones. En tal sentido, un aspecto relevante de la práctica de la ciencia química se relaciona con el hecho de que los químicos trabajan cotidianamente a distintos niveles de representación y explicación, de forma integrada y haciendo uso de diferentes “herramientas” propias de cada uno de ellos.

Los tres niveles de representación conllevan tres niveles de explicación (Johnstone, 1982) que hacen de esta ciencia un objeto particular. El nivel descriptivo y funcional corresponde al trabajo que los químicos realizan en el laboratorio, donde manejan, observan y describen propiedades (en términos de color, dureza, etc.) de los materiales, como así también las transformaciones de unos materiales en otros, reconocidas a través del cambio en las propiedades. Para explicar que las sustancias químicas se comportan de determinada manera (nivel explicativo) recurren a átomos, moléculas, iones. La forma de representar esas sustancias y los cambios que ocurren, esto es, las fórmulas químicas y las ecuaciones, constituyen las principales herramientas del nivel representacional.

LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL Y LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA

El trabajo experimental juega un papel fundamental para el aprendizaje de la ciencia, en particular de la Química. Ha de otorgar a los alumnos la oportunidad para que exploren, elaboren explicaciones, reflexionen, piensen en función de modelos y comparen sus ideas con las aportadas por las experiencias, elaboren conclusiones.

Se aprende a hacer ciencia, haciendo ciencia. Esto es, aprendiendo cómo emplear conocimientos científicos para resolver problemas. Ello requiere enfrentarse a la resolución de situaciones especialmente pensadas, para que los estudiantes puedan desarrollar esta capacidad. En este hacer ciencia, en la medida que se avanza en el enfoque y resolución de un problema, se va obteniendo una mayor comprensión del mismo y se van tomando decisiones acerca de los procedimientos más adecuados de actuación (Hodson, 1994). El laboratorio es un ámbito propicio para el aprendizaje de cómo emplear los métodos y procedimientos científicos, para resolver situaciones problemáticas, para trabajar en grupo, en equipo y en forma individual.

Pensar prácticas de laboratorio requiere determinar los objetivos y el contenido científico específicos, para cada caso. El desarrollo de actividades experimentales, pensadas para los niveles de Enseñanza Secundaria Básica (ESB) y Polimodal, tendrá necesariamente características comunes y otras diferenciales, relacionadas con el perfil de formación. En este trabajo se analiza a qué aspectos puede apuntarse con el trabajo de laboratorio, sin intentar

hacer una clasificación por tipos de trabajos, pero teniendo en cuenta cuál es, en cada momento, el objetivo que se persigue. Dos aspectos que consideramos esenciales cuando se piensa en el aporte del trabajo de laboratorio a la enseñanza de las ciencias son:

- Proporcionar experiencia directa sobre los fenómenos y trabajar en la conceptualización de una idea ó teoría.

Muchas veces, pueden proponerse actividades de laboratorio sencillas para que el alumno se relacione con realidades que se consideran relevantes para el aprendizaje y con las que no tiene contacto directo en la vida cotidiana. Otras veces, pueden recuperarse en el laboratorio situaciones de la vida cotidiana, para, por ejemplo, realizar una observación de características diferentes a la que habitualmente se hace.

En ambos casos lo fundamental es trabajar en establecer la conexión entre lo que el alumno hace y observa y lo que está aprendiendo ya que de lo contrario, muchas veces la realización de una experiencia *sirve para distraer al alumno de los conceptos importante, dificultando más que estimulando la adquisición y el desarrollo de conceptos* (Hodson, 1994).

Un ejemplo ilustrativo:

Colocar una gota de un colorante en un recipiente con agua fría y observar detenidamente. Repetir la experiencia utilizando agua caliente. Describir lo observado e interpretar utilizando el modelo de partículas.

En esta actividad lo que se pretende es que lo que se observa a nivel macroscópico, sea interpretado a nivel microscópico. El docente tiene un rol esencial, orientando a los alumnos para que encuentren las relaciones entre lo que están observando y la interpretación microscópica utilizando el modelo de partículas. También debería ayudarlos en el tipo de vocabulario que utilizan y guiarlos para que vayan incorporando en sus explicaciones terminología de carácter científico. En cuanto al trabajo grupal, el docente debería observar si en las discusiones participan todos los integrantes del grupo, si se escuchan y se tienen en cuenta las ideas que presentan los diferentes integrantes, si se confrontan las ideas diferentes.

Otro ejemplo:

En un tubo de ensayo añadir ácido nítrico sobre un trozo de cobre y recoger el gas desprendido en otro tubo. Introducir el tubo con el gas en una mezcla frigorífica (agua, hielo y sal). Observar el color del gas contenido en el tubo. Luego introducir el tubo en agua caliente y observar nuevamente la coloración.

Se trata de un sistema que aparece frecuentemente en la bibliografía, como ejemplo para la enseñanza del tema Equilibrio Químico. No es un sistema familiar al alumno pero puede resultar significativo para el aprendizaje, en cuanto es un sistema sencillo de representar químicamente y de describir molecularmente. Lo que se pretende en esta actividad, es que los alumnos

reflexionen acerca de las observaciones que realizan sobre el sistema en cuestión, utilizando el conocimiento teórico disponible que les lleve a reelaborar sus ideas.

Ello requiere que acepten que el sistema gaseoso formado consiste en una mezcla de NO_2 y N_2O_4 . Dos gases con propiedades y estructuras diferentes, de las cuales, la que nos interesa, a los efectos de interpretar la observación, es el color. También es relevante aquí que se acepte que es posible estimar la concentración de NO_2 (gas color pardo) y de N_2O_4 (gas incoloro) presentes, por la coloración más o menos marrón rojiza del sistema. Si bien esto permite, ver lo que ocurre, cómo se modifica el equilibrio, por ejemplo al variar la temperatura del sistema, no siempre la modificación del color del sistema responde sólo al desplazamiento del equilibrio. Por ejemplo, si lo que se pretende mostrar es, como lo proponen algunos textos, el desplazamiento del equilibrio ante un cambio de presión provocado por una variación de volumen del sistema gaseoso. Tenemos el sistema $\text{NO}_2/\text{N}_2\text{O}_4$ que ha alcanzado el equilibrio a temperatura ambiente, contenido en una jeringa y observamos entonces que tiene un color pardo. Apretamos el émbolo para aumentar la presión del sistema gaseoso. ¿Qué esperamos ver?. La respuesta más inmediata es que si aumenta la presión, el sistema se desplaza en el sentido de una mayor producción de N_2O_4 , que se traduce en un aumento de la concentración de N_2O_4 y una disminución de la concentración de NO_2 . Podría pensarse que deberíamos ver que el sistema se aclara. Pero en realidad el sistema se oscurece. El aumento de la presión se consiguió en el sistema a raíz de efectuar una disminución del volumen en el que se halla contenido el gas y ello hace que se concentre más la coloración rojiza debida al NO_2 , lo cual enmascara el efecto del aumento en la concentración del óxido incoloro debido al desplazamiento del equilibrio.

Como puede apreciarse, una sencilla experiencia demostrativa puede ser tan rica en aspectos que es posible discutir a partir de ella, como el docente decida.

- Enseñar sobre la práctica de la ciencia

Cuando las actividades de laboratorio se piensan de manera tal de dar a los alumnos la oportunidad de familiarizarse con el trabajo científico y aprender procedimientos, destrezas, actitudes, a la vez que ponen en juego el conocimiento conceptual de que disponen.

Este tipo de trabajo da lugar, en mayor o menor medida, al aprendizaje referido a (Hodson, 1994):

- La comprensión conceptual intensificada de cualquier tema estudiado o investigado.
- El aumento del conocimiento relativo al procedimiento: aprender más acerca de las relaciones entre la observación, el experimento y la teoría.
- El aumento de la habilidad investigadora.

Estas actividades de laboratorio deberían integrar varios aspectos esenciales de la actividad científica, tales como:

- el planteo de situaciones problemáticas abiertas, a través de las cuales los alumnos puedan reflexionar acerca de su relevancia, de su importancia, de por qué tiene sentido desde el punto de vista de la ciencia estudiar dichas situaciones.
- el planteo de conjeturas, predicciones o hipótesis, dependiendo del grado de conocimiento de los alumnos sobre las problemáticas planteadas. Pueden plantear conjeturas o predicciones si tienen escaso conocimiento. Si han elaborado un marco teórico pueden plantear hipótesis.
- la planificación y elaboración de diseños experimentales, que pueden ser de laboratorio o de trabajo de búsqueda de datos en tablas, en bibliografía, incorporando tecnología actual.
- el análisis detallado de los resultados, en ese análisis considerar las hipótesis planteadas, el marco teórico, los resultados obtenidos por otros compañeros, por la comunidad científica publicados en revistas, libros, etc.
- la elaboración de las comunicaciones escritas y/u orales reflejando el trabajo realizado y permitiendo el intercambio de ideas entre los diferentes grupos de trabajo, asemejándose a como lo hacen los científicos. También se pueden organizar exposiciones o jornadas de comunicaciones orales para que cada grupo exponga y cuente al resto el trabajo y se confronten e intercambien ideas, resultados, etc.

Podrían incluirse entre estas actividades desde un *ejercicio práctico*, en el que lo central es, por ejemplo, el aprendizaje de determinado procedimiento, hasta *pequeñas investigaciones*, que permitan a los estudiantes trabajar en la resolución de problemas, de una manera análoga a como lo harían los científicos. La diferencia entre unas y otras se vincula con el objetivo de aprendizaje que se determine y radica en el grado de apertura que se dé al trabajo. Este grado de apertura puede entenderse de diferentes maneras:

- En relación con la forma en que se define el problema
- En relación con la guía del profesor y la participación del alumno
- En relación con la diversidad de estrategias de solución posibles
- En relación con la diversidad de soluciones posibles

Esto conlleva una diversidad importante de situaciones posibles cuyo nivel de dificultad varía en relación con la apertura antes definida y que se puede expresar en términos de diferentes factores (Cuadro 1) que contribuyen al citado nivel de dificultad.

Un ejemplo:

Debes proponer una manera de reconocer y diferenciar, por su acidez, sustancias utilizadas diariamente. Dispones de pequeñas cantidades de muestras de jugo de frutas, bicarbonato de sodio, sal de mesa, limpia horno, alcohol, shampoo, agua, jabón blanco, soda, ácido muriático.

Si se pretende con esta actividad, por ejemplo, que el alumno se inicie en el diseño del trabajo a realizar, a partir de un problema que se le plantea, se requiere establecer algunas pautas previas de organización del trabajo, las cuales sería deseable que formen parte de la guía de trabajo. Entre las pautas

deberían figurar orientaciones que le permitan planificar el trabajo, teniendo en cuenta en primer lugar la información de que dispone acerca del tema, los materiales, el tiempo de que dispone. Además, el docente ha de orientarlos acerca de la selección entre las diferentes alternativas, cómo determinar cuál es la más conveniente y por qué, (cuál implica menos gasto, con qué materiales se cuenta, cuál es más viable).

	Nivel de dificultad	
	Bajo	Alto
Apertura: Definición del problema	Cerrado	Abierto
Carga Conceptual	Baja	Alta
Variable Dependiente	No es necesario medir para determinarla (por ejemplo, reacciona o no reacciona)	Requiere medición (por ejemplo: temperatura, pH)
Variable independiente: Número y Tipo	Una Categórica	Varias Continua
VARIABLES a controlar	Muchas	Pocas
Equipamiento y técnicas involucrados	Sencillos	Complejos
Contexto	Familiar	No familiar

Cuadro 1. Nivel de dificultad de las actividades de laboratorio (adaptado de Caamaño, 2003)

EL DISEÑO DE LOS TRABAJOS PRÁCTICOS DE LABORATORIO Y SU DESARROLLO

Se hace necesario diseñar trabajos prácticos de laboratorio, que faciliten el aprendizaje de los contenidos procedimentales, propicien el despliegue de una intensa y variada elaboración mental (Fonayet y Valls, 1994) y que actúen como instrumentos facilitadores de la intervención educativa del docente y del aprendizaje del alumno (Domínguez, 1999).

Muchas de las críticas a los trabajos de laboratorio tienen relación con el diseño de los mismos, por eso es necesario revisarlos teniendo en cuenta los propósitos que se pretenden alcanzar (Sebastiá, 1985). El tipo de diseño muchas veces refleja la concepción que se tiene de cómo se hace Ciencia y de cómo se puede aprender ciencia en el ámbito escolar (Caamaño, 1992), como también de los objetivos y metas que se desean lograr en las clases.

El primer paso para un buen diseño es tener claro para qué se ha de realizar la actividad experimental en cuestión. Muchas veces el profesor suele dar por supuesto que los alumnos relacionan automáticamente las experiencias con las ideas y perspectivas de los científicos, pero los alumnos las relacionan únicamente con sus propias ideas (Osborne y Freyberg, 1991; Domínguez, 1999). Debido a que el marco teórico de unos y otros es diferente y distinto también del de la ciencia, es posible que los estudiantes realicen toda una experiencia de laboratorio sin comprender el objetivo, el procedimiento y los

hallazgos. Por lo tanto, es importante ayudarles a establecer la conexión entre lo que están haciendo y lo que están aprendiendo.

El diseño también depende del momento del proceso de aprendizaje en el que se proponga la actividad experimental. Si es una actividad de tipo exploratoria, será planificada de manera más abierta, en cambio en otro momento del proceso de aprendizaje la guía puede ser más orientada, sistematizada para que los alumnos puedan percibir determinados aspectos o identifiquen y combinen otras variables, o pueden planificarse como investigación para que el alumno aplique determinado conocimiento.

Si los trabajos de laboratorio implican práctica repetitiva de técnicas y procedimientos, poco podrán elaborar los alumnos. Si en cambio, se diseñan teniendo en cuenta el nivel educativo, los objetivos curriculares, el perfil de los alumnos y de forma tal de darles la oportunidad para que exploren, elaboren explicaciones, reflexionen, utilicen modelos e intercambien ideas entre ellos; posibilitarán el aprendizaje en ciencias.

También es necesario evaluar la conveniencia de desarrollar una práctica experimental en términos de tiempo, recursos, complejidad, seguridad y efectividad del aprendizaje.

En el marco del Proyecto Polimodal: desafíos alrededor de competencias experimentales (Rocha y otros, 2005), que apunta al desarrollo y la evaluación de competencias asociadas a la actividad experimental, en la interfase Polimodal – Universidad, se ha desarrollado una propuesta de modelo propio de competencias asociadas a la actividad experimental

En este proyecto, se considera adecuado potenciar aquellas competencias que resulten útiles al estudiante, aún cuando no aspire a ser un investigador o a continuar una formación universitaria vinculada con el campo de las ciencias de tipo experimental. La observación sistemática, la curiosidad, la creatividad, la cultura de colaboración, el espíritu crítico, el respeto por las opiniones ajenas, el pensamiento sistémico, el aprender a situarse como ciudadano, a nivel individual y como miembro de un grupo, son todos componentes deseables de las competencias a potenciar en los alumnos. Estas capacidades se han agrupado en cuatro áreas:

- *Área relativa a los modos de proceder:* incluye los aspectos relacionados específicamente con el trabajo experimental propiamente dicho, el diseño y montaje de equipos, la utilización de métodos y procedimientos experimentales y el trabajo con los datos obtenidos en una experiencia.

- *Área relativa a la relación conocimientos-hechos de la realidad:* incluye aspectos relacionados con el conocimiento científico necesario para interpretar y describir la realidad mediante modelos.

- *Área relativa a la comunicación:* considera los aspectos referidos a la comunicación, tanto oral como escrita, de distintos aspectos de la actividad experimental, atendiendo a temáticas, intenciones y destinatarios de la

comunicación. También se incluyen aquellos referidos a la posibilidad de acceder a diferentes fuentes de información, y obtener de ellas información relevante a los hechos que se estudian.

- *Área relativa a la valoración del trabajo científico*: se agrupan los aspectos referidos al desempeño social del alumno, vinculados con su actitud asociada al trabajo científico, como así también aquellas que tienen que ver con su accionar en un grupo de trabajo.

En este marco de trabajo, nos encontramos actualmente realizando, conjuntamente con los docentes de ciencias de las escuelas de nivel Polimodal que pertenecen al proyecto antes citado, el análisis de guías escritas de actividades de laboratorio que corresponden al desarrollo de diferentes temáticas relacionados con la enseñanza de la Química.

El análisis de las guías se enfocó a la determinación de habilidades y capacidades que se consideran relevantes para el aprendizaje en ciencias, que aparecen explícitos en ellas.

En general las guías escritas analizadas, presentan un procedimiento que debe realizar el alumno, se le solicita que registren datos, que describan las observaciones realizadas, o que planteen las ecuaciones correspondientes a las reacciones involucradas y/o realicen algún cálculo a partir de expresiones algebraicas que se plantean en ella. Respecto a la comunicación de resultados, en dos de las guías analizadas se solicita un informe estructurado donde se indica lo que debe contener. En los demás casos, no se hace explícito en el guión escrito la elaboración de un informe al finalizar el trabajo. Sólo aparecen cuestiones para responder.

Aparecen explícitamente aspectos relacionados con el trabajo utilizando diversos métodos y procedimientos, y con la utilización del conocimiento científico para proceder en la experiencia y para interpretar resultados.

No aparecen procedimientos relacionados con el área "Valoración del trabajo científico", antes definida, tales como por ejemplo: *proponer ideas para resolver situaciones nuevas o contrastar modelos, o confrontar las ideas propias con las de otro*.

Este análisis es la base del trabajo de rediseño y discusión que se lleva adelante conjuntamente con los docentes involucrados, para conseguir el desarrollo de trabajos de laboratorio en los que se potencien aspectos tales como la elaboración de hipótesis, la predicción de resultados, la elaboración de informes de tipo abierto, el proponer ideas para resolver situaciones diferentes, el análisis de diferentes alternativas de solución, entre otros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Caamaño, A. (1992). Los trabajos prácticos en ciencias experimentales, Aula 9, 61-68.

- Caamaño, A. (2003). Los trabajos prácticos en ciencias. En Jiménez, M. (coord.) Enseñar ciencias. Grao. Barcelona.
- Domínguez, J. (1999). Diseño curricular en ciencias experimentales. Universidad de Santiago de Compostela. España.
- Fonayet, M. y Valls E (1994). ¿Una estrategia didáctica particular en la enseñanza de los contenidos procedimentales?. Aula 22, 43 - 47.
- Hodson, D.; (1994), Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. Enseñanza de las Ciencias, 12(3), 299-313.
- Johnstone, A.; 1982. Macro and micro-chemistry. The School Science Review 64 (227), 377 – 379.
- Nahkleh, M.; Polles, J. y Malina, E. 2002. Learning chemistry in a laboratory environment (Cap. 4). En Gilbert, J. De Jong, O.; Just, R., Treagust, D and van Driel, J. Chemical Education: Towards research-based Practic. Kluwer Academic Publishers. Londres.
- Osborne, R y Freyberg, P. (1991). El aprendizaje de las Ciencias. Implicaciones de la ciencia de los alumnos. Editorial Narcea. Madrid
- Pro B., A (2003). La construcción del conocimiento científico y los contenidos de ciencias. En Jiménez, M. (coord.) Enseñar ciencias. Grao. Barcelona.
- Rocha, A.; Martínez, J.; Tenaglia, M. y Bertelle, A. (2005). Algunos avances sobre la determinación y evaluación de competencias asociadas a la actividad experimental. Actas Primeras Jornadas Nacionales de Didácticas Específicas. "La Formación Docente y la Investigación en Didácticas Específicas" (versión digital). Universidad Nacional de San Martín. Buenos Aires.
- Sebastiá, J. (1985). Las clases de laboratorio de Física: una propuesta para su mejora. Enseñanza de las Ciencias, 3(1), 42-45.