

Proyectos educativos recientes basados en la indagación de la química

Andoni Garritz*

ABSTRACT (Recent educative projects based on chemistry inquiry)

A survey is done on the use of inquiry in science education, first, and chemistry education, at last. It is emphasized that inquiry is much more than a set of activities, becoming not only a catch phrase encompassing many aspects of science education, but also a useful label that summarizes many important ideas that can serve to integrate various facets of educational practice.

KEYWORDS: teaching scientific inquiry, science education, chemistry education

Indagación, en general

En 1985, la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos y el Instituto Smithsonian establecieron el "National Science Resources Center", una organización dedicada a desperdigar la educación basada en la indagación a cerca de 20% de los distritos escolares de ese país. Diez años más tarde, la Academia Francesa de Ciencias encargó al Ministerio de Educación un programa similar "La Main à la Pâte", que hoy se ha extendido a todas las primarias francesas.

El National Research Council de los Estados Unidos publicó en 1996 los Estándares Nacionales de la Educación en Ciencias, donde se define a la indagación como

Una actividad polifacética que implica hacer observaciones; plantear preguntas; examinar libros y otras fuentes de información para ver qué es lo ya conocido; planificar investigaciones; revisar lo conocido hoy en día a la luz de las pruebas experimentales; utilizar instrumentos para reunir, analizar e interpretar datos; proponer respuestas, explicaciones y predicciones; y comunicar los resultados (NRC, 1996; p. 23).

El mismo NRC (2000) ha manifestado los siguientes cinco aspectos como esenciales de la indagación en el aula, desde el punto de vista de los estudiantes:

- i) Los estudiantes son atraídos mediante una pregunta orientada científicamente;
- ii) Los estudiantes le dan prioridad a las pruebas, lo que permite que desarrollen y evalúen explicaciones que respondan a las preguntas planteadas;

- iii) Los estudiantes formulan explicaciones a partir de las pruebas para responder a la pregunta científicamente orientada;
- iv) Los estudiantes evalúan sus explicaciones a la luz de diferentes tipos de ellas, particularmente aquellas que muestren una clara comprensión científica, y
- v) Los estudiantes comunican y justifican las explicaciones propuestas.

Similarmente y hacia 1995 también, las academias sueca y australiana empezaron un programa similar en sus naciones, hasta que en el año 2000, el "Inter-Academy Panel on International Issues" (IAP), una organización de academias de ciencias de 98 países inició un macro-proyecto con las mismas características a nivel mundial.

En la declaración de Tokio 2000, organizada por el IAP, se afirmó que "la comunidad científica y tecnológica debe comprometerse como un socio activo con los sistemas educativos a fin de asegurar la inclusión de una educación en ciencias de calidad, estimulante y eficaz en todos los niveles".

En 2002, la Academia Chilena de Ciencias y la Universidad de Chile, apoyadas por las academias americana y francesa, establecieron el programa "Educación en Ciencias Basada en la Indagación (ECBI)". En 2005 se inició otro proyecto a nivel africano, el cual organizó actividades en Senegal, Uganda, Kenia, Sudáfrica, Nigeria, y Camerún (Allende, 2008).

En su tesis doctoral, Reiff (2004) estudió lo que opinaban 52 científicos de diversas disciplinas universitarias y les pidió que describieran qué constituye la indagación científica y llegó a seis conclusiones importantes acerca de lo que piensan que es:

1. Una investigación alimentada por preguntas;
2. Un proceso, no un producto;
3. Un enfoque empleado para resolver problemas;
4. Una forma natural de pensar;
5. Una habilidad que los niños poseen instintivamente;
6. Un puente que conecta lo conocido con lo desconocido.

* Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, Av. Universidad # 3000. 04510, México, D.F. MÉXICO.

Correo electrónico: andoni@unam.mx

Sin embargo, su estudio no exploró cómo estas visiones se relacionaban con una enseñanza basada en la indagación.

Para trabajar seriamente sobre lo que es la indagación requerimos una definición de lo que es, la cual se vuelve elusiva, sin remedio. Minner, Levy & Century (2010) se enfrentaron a este problema al participar en el "Inquiry Synthesis Project", en el que a lo largo de cuatro años intentaron responder a la pregunta ¿cuál es el impacto de la educación basada en la indagación desde preescolar hasta el bachillerato? Llevaron a cabo un estudio de búsqueda de 18 años, de 1984 a 2002, en el que revisaron los trabajos publicados sobre el uso de la indagación en la enseñanza. Pero debieron primero delinear cuál es un trabajo evaluable sobre la utilización de la indagación en el aula o el laboratorio, que posea el rigor mínimo metodológico.

Estos autores nos dicen que la indagación se refiere al menos a tres categorías diferentes de actividades:

1. Lo que hacen los científicos (hacer investigación mediante la metodología científica);
2. Cómo aprenden los estudiantes (preguntándose activamente y empleando el razonamiento y la acción para comprender un fenómeno o problema, a menudo como reflejo de los procesos empleados por los científicos);
3. El enfoque pedagógico que emplean los profesores (con el diseño y el uso del currículo que promueve la investigación en la clase o el laboratorio).

Puede concluirse fácilmente que estas tres maneras de indagar (por científicos, estudiantes y profesores) son tres asuntos diferentes, por lo que la definición de «indagar» se vuelve bastante difícil (Anderson, 2007). Aquí nos debe interesar tanto el aprendizaje estudiantil vía la indagación como la enseñanza de los profesores. Anderson nos dice respecto al primero que, de manera similar al aprendizaje constructivista, la indagación se lleva a cabo con los siguientes cuatro elementos:

1. Aprender es un proceso activo de los individuos que construyen significados para ellos mismos, y los aprendizajes significativos no son sólo recibidos, sino construidos;
2. Los significados que cada individuo construye dependen de las ideas previas que posea. En este proceso, dichas ideas previas pueden modificarse;
3. Los entendimientos que desarrolla cada individuo dependen del contexto en el cual esos significados son captados. Mientras más abundantes y variados son dichos contextos, los entendimientos son más ricos;
4. Los significados son construidos socialmente; los entendimientos se enriquecen con la captura de las ideas en la compañía de otras gentes.

Sin embargo, nos indica Anderson que la enseñanza vía la indagación no es tan simple como estos cuatro elementos del

aprendizaje. Hay toda una diversidad de enseñanza mediante la indagación. Sin embargo nos recalca lo que dice el NRC (1996) en los Estándares: "La estrategia central para la enseñanza de las ciencias es la indagación de preguntas auténticas generadas de la experiencia estudiantil" (p. 31).

Minner, Levy & Century (2010) analizaron 1027 documentos que tenían que ver con indagación, pero pusieron un cedazo para quedarse con aquellos 138 que sin duda contemplan la evaluación del impacto sobre los estudiantes y que desarrollaran:

- a) Un contenido científico de biología, ciencias físicas (incluida la química) o ciencias de la Tierra;
- b) El involucramiento estudiantil inequívoco con el aprendizaje del contenido;
- c) Una responsabilidad de aprendizaje centrada en los estudiantes, con un razonamiento estudiantil activo y motivación al menos con uno de los siguientes componentes de la instrucción: pregunta, diseño, datos, conclusión y comunicación.

Una de las conclusiones más relevantes de este trabajo es que:

Las estrategias de enseñanza que comprometen al estudiante activamente en el proceso de aprendizaje a través de investigaciones científicas incrementan la comprensión conceptual mejor que las estrategias que se basan en técnicas pasivas, lo que es a menudo necesario en las actuales evaluaciones estandarizadas del ambiente educativo actual (p. 474).

Sotiriou *et al.* (2012) han publicado el proyecto PATHWAY. En él mencionan el difícil papel de los profesores en la enseñanza de las ciencias basada en la indagación (ECBI):

Los profesores tienen un papel clave en la práctica de la ECBI. Sin embargo, esta enseñanza plantea desafíos únicos y complejos para el maestro (Airasian, Engemann & Gallagher, 2007; Marx, *et al.*, 1997; Krajcik *et al.*, 2000). Los profesores tienen que ser los tutores de los alumnos —proporcionando el andamiaje para el proceso de comprensión, reduciendo la confusión mediante ajustes, facilitando información y ayudando a los alumnos a planificar y a llevar a cabo las investigaciones. Es importante que los profesores cambien su rol tradicional por uno nuevo y se sientan cómodos en el aula. Pero, [se preguntan] ¿los profesores pueden pasar de un modelo de enseñanza centrado en ellos a uno centrado en la indagación práctica por parte del estudiante? ¿Cómo apoyan los maestros la comprensión de conceptos científicos? ¿Cómo planifican actividades que permitan el aprendizaje basado en la indagación? (Sotiriou *et al.*, 2012, p. 21)

El proyecto PROFILES (siglas correspondientes a "Professional Reflection-Oriented Focus on Inquiry-based Learning and

Education through Science”, en español “Reflexión profesional dirigida a un aprendizaje basado en la indagación y en la educación a través de la ciencia”) es uno en el que actualmente participan 18 países europeos (Alemania, Austria, Chipre, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Holanda, Irlanda, Italia, Lituania, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumania, Suecia y Suiza) y dos asiáticos (Israel y Turquía).

PROFILES promueve el aprendizaje basado en la indagación (ABI). El proyecto emplea la “colaboración entre profesores” cuyo objetivo es implementar materiales existentes basados en ABI para la enseñanza de las ciencias. Los cursos de formación del profesorado reflejarán los cambios relevantes que se produzcan para los profesores participantes y a largo plazo, mejorarán sus habilidades para desarrollar tanto la resolución de problemas científicos como entornos socio-científicos de aprendizaje creativos; estos entornos de aprendizaje se centran en estimular la motivación intrínseca de los estudiantes para aprender ciencias experimentales y en mejorar las competencias individuales y la habilidad para tomar decisiones informadas y adecuadas, además de las habilidades propias de la indagación científica.

El proyecto pretende llevar a cabo una reflexión sobre la enseñanza/aprendizaje de las ciencias experimentales. El énfasis de esta reflexión se centra en estimular las competencias científicas y pedagógicas de los profesores, identificadas por ellos mismos y especialmente basadas en el aprendizaje mediante la indagación y en la promoción de este tipo de estrategia de enseñanza. La mejora en la enseñanza de ciencias se realizará mediante:

- Nuevas formas de pedagogía mediante la introducción en las aulas de estrategias de enseñanza-aprendizaje basadas en la indagación utilizando materiales existentes y creados en el proyecto.
- Formación del profesorado para la utilización de estas estrategias de enseñanza-aprendizaje.
- Desarrollo de redes de profesores nacionales e internacionales

Indagación química

El bachillerato

Vamos a empezar por los estudios que abordan el caso de la indagación química en la educación secundaria y de bachillerato.

Roehrig and Luft (2004) nos dicen de que, a pesar de la insistencia sobre la indagación en los Estándares americanos, en 2004 solamente un 10% de los salones de clase la habían incorporado de lleno. Resumen las siguientes restricciones existentes para la indagación: 1) Inadecuado conocimiento disciplinario, incluido el de la Naturaleza de la Ciencia; 2) Carencia de habilidades pedagógicas de los profesores; y 3) Acceso inadecuado a materiales curriculares apropiados.

Estos investigadores han sugerido que las creencias, más que los conocimientos, constituyen el ingrediente más importante para la práctica de la docencia en el aula. “Las creencias son constructos personales que son importantes para la prác-

tica de los profesores: guían las decisiones durante la instrucción; influyen en el manejo del aula y proporcionan una lupa para entender los sucesos en la clase. Contrariamente a los conocimientos, las creencias son proposiciones que el individuo piensa que son válidas, no están basadas en las pruebas sino en el juicio y la evaluación personal; son traídas a partir de episodios críticos y experiencias previas” (p. 1510).

Smithenry (2010) nos habla de una profesora del bachillerato que integró en un currículo tradicional varias sesiones de indagación guiada. Nos dice también que hay varios materiales de los proyectos curriculares de reforma que han sido desarrollados incluyendo la indagación, tales como el proyecto «Chemistry in the community» estadounidense (ACS, 2011), el «Salters» británico (Bennett & Lubben, 2006) y el «Chemie im Kontext» alemán (Parchmann *et al.*, 2006). Y que estos materiales pueden ser empleados por los profesores, aun dentro de un currículo tradicional.

Barnea, Dori & Hofstein (2010) y Dori *et al.* (2004) cultivan la indagación en el laboratorio con una componente de Tecnologías de la Información y la Comunicación.

Schwartz & Lederman (2002) escribieron un artículo crucial que permite documentar el conocimiento pedagógico para enseñar la naturaleza de la ciencia y la indagación. (Renée Schwartz, 2012, es una autora del área emergente de este número). Sobre el mismo tema contamos también con la terna de artículos con los que José Antonio Acevedo (2009 a, b y c) se retiró momentáneamente de la barrera de la didáctica de las ciencias. En estos últimos artículos se aborda el hecho de que el conocimiento pedagógico de la indagación es la intersección entre tres conocimientos, como lo muestra la figura 1.

Tradicionalmente se piensa que la realización de una serie de actividades de indagación basta para llevar a cabo la enseñanza por este medio (Lunetta *et al.*, 2007). En particular yo he publicado tres artículos en el que presentamos las siete

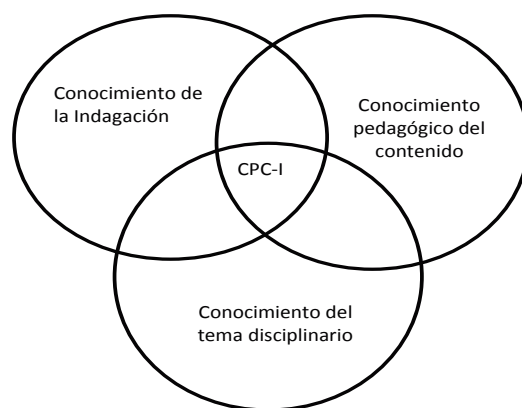


Figura 1. Para tener los conocimientos para que sus estudiantes construyan lo requerido para llevar a cabo la labor de indagación, los profesores deben tener tres tipos diferentes de conocimiento: a) el de indagación en sí; b) el del tema específico de la disciplina y c) el conocimiento didáctico de ese contenido específico.

Tabla 1. Siete actividades de la indagación.

1. Identificar y plantear preguntas que puedan ser respondidas mediante indagación.
2. Definir y analizar bien el problema a resolver e identificar sus aspectos relevantes.
3. Reunir información bibliográfica que sirva de prueba.
4. Formular explicaciones al problema planteado, a partir de las pruebas.
5. Plantear problemas de la vida cotidiana y tocar aspectos históricos relevantes.
6. Diseñar y conducir trabajo de investigación a través de diversas acciones.
7. Compartir con otros mediante argumentación lo que ha sido aprendido a través de indagación.

actividades de la Tabla 1 (Garritz, 2010; Espinosa, Garritz, Labastida y Padilla, 2010; Espinosa, Labastida, Padilla y Garritz, 2011):

Van Rens, Pilot & van der Schee (2010) nos presentan un interesante desarrollo de indagación llevado a cabo con cinco profesores de bachillerato en diez escuelas holandesas, con un total de 80 estudiantes (Lisette van Rens, 2012, es asimismo una autora de los trabajos del área emergente en este mismo número).

Pues Van Rens *et al.* insisten en que basta enlistar las actividades llevadas a cabo para que el estilo de indagación quede definido, y proponen un marco en el que se establezcan los dos siguientes principios de diseño de la indagación, con tres y cuatro subprincipios, respectivamente:

- A) Guiar a los estudiantes para conducirse en un proceso cíclico e iterativo de indagación:
 - A1. Crear un problema de indagación auténtico y una cultura de indagación en la clase;
 - A2. Dar oportunidad a que los estudiantes comprendan la finalidad y naturaleza de la indagación, los conceptos disciplinarios y los derivados de pruebas empíricas;
 - A3. Proporcionar a los estudiantes las oportunidades para interpretar el problema, de aplicar sus habilidades experimentales y de establecer y evaluar sus conclusiones.
- B) Crear una comunidad de indagación:
 - B1. Realizar trabajos con un problema común de indagación;
 - B2. Permitir que los estudiantes alcancen sus propios resultados de indagación;
 - B3. Organizar un discurso crítico entre los estudiantes;
 - B4. Estimular el desarrollo del conocimiento y las preguntas derivadas.

Estos autores realizaron un proyecto piloto, sobre el tema de “Sustancias desecantes” y un proyecto formal sobre “Difusión: partículas en movimiento”. Concluyen que el marco propuesto tanto teórica como prácticamente para enseñar a través de

la indagación científica tiene mucho potencial. Lo anterior puede concluirse porque la misma comunidad desarrolló siete módulos más sobre la base del mismo marco: Jabón tradicional y moderno; El refresco de cola y los dientes; Diseño frío y recipiente frío; Salado; Biocombustibles; Chocolate y Fermentación (todavía en construcción).

Por su parte, Derek Cheung (2011) hace un estudio para conocer las creencias de los profesores del bachillerato alrededor del trabajo de indagación y su influencia sobre su desarrollo o no en el laboratorio o el aula. Define «creencias» como “entendimientos, premisas o proposiciones acerca del mundo, basadas psicológicamente, y que el individuo siente que son ciertas” (p. 1463). Para ello crea una escala de indagación guiada (GIS por sus siglas en inglés) apoyada en un cuestionario con 30 preguntas, el que posteriormente redujo a 12, cuatro por cada una de las siguientes tres dimensiones:

1. El valor dado al trabajo de laboratorio de indagación guiada;
2. Las limitaciones del estilo receta-de-cocina en el trabajo de laboratorio;
3. Evaluar las creencias de los profesores acerca de las características estudiantiles para desarrollar adecuadamente el trabajo de laboratorio mediante indagación guiada.

Según Cheung el trabajar química a través de la indagación requiere que los profesores creen situaciones en las cuales los estudiantes sean estimulados a plantear preguntas, proponer hipótesis, diseñar experimentos de laboratorio, coleccionar y analizar datos y presentar sus hallazgos. En particular, la indagación guiada es aquella en la cual el profesor plantea alguna pregunta y los alumnos deben realizar experimentos y responderla con las pruebas que acumulen.

En la tabla 2 damos algunos ejemplos de los problemas a los que se enfrentaron los estudiantes de la secundaria de Hong Kong (aclaramos que hay siete años de secundaria en este país y que la química se da desde el tercero hasta el séptimo, entre los 15 y los 19 años).

Este investigador concluye que las creencias de los profesores sí influyen en el desarrollo de la indagación guiada. Separó sus resultados entre los profesores que sí y los que no la emplean en sus clases. Y obtuvieron mejores notas los que sí la utilizan, aunque ambos reconocen las limitaciones del estilo receta-de-cocina, los no usuarios reconocieron que los alumnos no se ven motivados ni les gusta realizar experimentos de indagación y que su viabilidad es baja en estudiantes no sobresalientes.

Un resultado enteramente similar obtienen Liu, Lee & Linn (2010), quienes califican la integración del conocimiento mediante un modelo jerárquico lineal en más de 4500 estudiantes a quienes enseñan 40 profesores a lo largo de cinco estados de la Unión Americana. Los estudiantes con profesores que valoran más la indagación como estrategia de enseñanza adquieren una integración mayor del conocimiento.

Por su parte, Rushton, Lotter, & Singer (2011) investigan

Tabla 2. Ejemplos de tópicos que los profesores entrevistados por Cheung en Hong Kong han empleado en sus experimentos de indagación guiada.

Tercero de secundaria:

- Determinación de CaCO_3 en conchas coleccionadas en la playa.
- Comparación del costo-efectividad de algunos antiácidos.

Cuarto de secundaria:

- Determinación de NaHCO_3 en tabletas efervescentes.
- Comparación de la efectividad de resistencia a los ácidos en diferentes marcas de pasta dental.

Quinto de secundaria:

- Electroplateado de un objeto mediante cobre.
- Determinación de la masa de CaCO_3 en la cáscara de huevo.

Sexto de secundaria:

- Determinación de vitamina C en algunos refrescos.
- Determinación de SO_2 en el vino.

Séptimo de secundaria:

- Investigación de las propiedades reductoras del té verde.
 - Determinación del cobre en una moneda.
 - Extracción de yodo en algas marinas.
-

las creencias y prácticas de siete profesores del bachillerato involucrados en un proyecto de desarrollo profesional de un año de duración. Después de su participación, los profesores describen cómo adquirieron un entendimiento más a fondo de lo que significa la enseñanza por indagación, cómo valoraron el uso del modelo Predice-Observa-Explica (POE) y cómo el uso de la indagación incrementó la capacidad de sus estudiantes de pensar críticamente.

Para concluir con este análisis de la enseñanza media superior a través de la indagación, incluimos las conclusiones de Kipnis y Hofstein (2008) en el contexto de un curso de laboratorio de química basado en la indagación. Nos indican que los alumnos fueron involucrados en el proceso de la indagación a través de toda una serie de habilidades: identificar problemas, formular hipótesis, diseñar un experimento, reunir y analizar datos, y sacar conclusiones sobre problemas y fenómenos científicos. Mientras desarrollaban estas actividades en pequeños grupos de indagadores fueron estimulados a discutir y argumentar sobre sus ideas acerca de esos fenómenos y se les dio el tiempo necesario para llevar a cabo todo el proceso, y adquirieron habilidades relacionadas con la metacognición.

Nivel superior

Samia Khan (2007) nos presenta varias estrategias de instrucción de una indagación basada en modelos para la clase de química universitaria, que fue analizada a través de la colección de datos a partir de observaciones de clase, una encuesta a los estudiantes y varias sesiones de resolución de problemas entre el docente y los estudiantes. La interacción entre ambos reveló un patrón cíclico en el que los estudiantes generan, evalúan y modifican (GEM) hipótesis a lo largo del curso. Se

estima que esta actividad de GEM contribuye al crecimiento de los alumnos en la indagación científica, la construcción de modelos y su revisión. De esta manera, GEM representa un enfoque prometedor hacia el proceso de avance estudiantil y el logro de los objetivos en la enseñanza de la clase de química en la licenciatura.

Khan nos marca los siguientes como procesos involucrados en la indagación:

- Identificar un problema y reunir información.
- Hacer predicciones.
- Hacer sentido de las observaciones y buscar patrones en la información.
- Emplear analogías e intuición física para conceptualizar los fenómenos.
- Analizar y representar datos.
- Postular factores causales potenciales.
- Trabajar con las pruebas para desarrollar y revisar explicaciones.
- Generar relaciones hipotéticas entre las variables.
- Evaluar la consistencia empírica de la información.
- Formular y manipular modelos mentales o físicos (modelar).
- Coordinar modelos teóricos con la información, y
- Compartir con otros lo que se ha aprendido a través de la indagación.

Rajan & Marcus (2009) han empleado POGIL (siglas correspondientes a "Aprendizaje de Indagación Guiada Orientado por Procesos" en inglés "Process Oriented Guided-Inquiry Learning") para el curso introductorio de Química para carreras no científicas. Las actitudes y el aprendizaje estudiantil se compararon entre un grupo al cual se le enseñó de la manera tradicional y otro con POGIL. Se emplearon como herramientas una encuesta actitudinal con cuestionarios y evaluaciones del contenido. Su resultado fue que el grupo POGIL: a) Concluyó el curso con actitudes más positivas relacionadas con el trabajo en grupo y la comunicación, y b) Mostró ganancias significativas en la evaluación final de contenidos, especialmente en las áreas correspondientes a la retención de información y la comprensión conceptual.

Fay, Grove, Towns, & Bretz (2007) comienzan su artículo diciendo: "Durante 30 años, los químicos han debatido el empleo apropiado del laboratorio en el currículo de la licenciatura", discutiendo los méritos del laboratorio inductivo contra el deductivo y si los estudiantes deben desarrollar principios generales a partir de observaciones específicas o viceversa. Martin-Hansen (2002) ha insistido en que la efectividad del laboratorio como método educativo recae en la oportunidad que se dé a los estudiantes de responder preguntas, hacer hipótesis, coleccionar y analizar datos y decidir conclusiones prácticas para responder a las preguntas que se hicieron. De ello, Fay *et al.* (2007) insisten en que ese debe ser el objetivo de la enseñanza experimental en el laboratorio: desarrollar la indagación en los estudiantes.

Cacciatore, & Sevia (2009) nos dicen que la investigación educativa (Oliver-Hoyo, *et al.*, 2004; Farrel, 1999; Bodner *et al.* 2000) ha demostrado que el cambio del currículo del laboratorio de Química General Universitaria de uno tradicional a otro basado en experimentos por descubrimiento, tiene un impacto significativo sobre el aprendizaje estudiantil. Estos autores hablan también de un cambio incremental desde un currículo tradicional hasta uno dominado por la indagación. Ya habían incluido un ejemplo de laboratorio de Química Verde en otro artículo previo (Cacciatore, & Sevia, 2006).

Finalmente, Park-Rogers y Abell (2008) encuentran mediante entrevistas las dos metas más importantes de los educadores universitarios de la indagación en un curso básico de la Universidad, llamado "Warm Little Planet": a) enseñar a los estudiantes cómo los científicos hacen ciencia y b) utilizar un enfoque multidisciplinario para desarrollar los conocimientos de los estudiantes acerca de las grandes ideas científicas.

Bibliografía

Acevedo-Díaz, J. A., Conocimiento didáctico del contenido para la enseñanza de la naturaleza de la ciencia. (I): El marco teórico. (II) Una perspectiva. (III) Enfoques explícitos versus implícitos en la enseñanza de la naturaleza de la ciencia, *Revista Eureka de Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(1), 21-46, 2009a; 6(2), 164-189, 2009b; 6(3), 355-386, 2009c. Las tres partes pueden ser descargadas desde las URLs:

http://venus.uca.es/eureka/revista/Volumen6/Numero_6_1/Acevedo_2009a.pdf

http://venus.uca.es/eureka/revista/Volumen6/Numero_6_2/Acevedo_2009b.pdf

http://venus.uca.es/eureka/revista/Volumen6/Numero_6_3/Acevedo_2009.pdf

ACS, *Chemistry in the Community*, 6th edition, Washington, D.C., USA: McMillan, 2011.

Airasian, P. W., Engemann, J. F. and Gallagher, T. L., *Classroom assessment: Concepts and applications –First Canadian edition*. Toronto, ON, Canada: McGraw-Hill Ryerson, 2007.

Allende, J. E., Academies Active in Education (Editorial), *Science*, 321, 1133, 2008.

Anderson, R. D., Inquiry as an organizing theme for science curricula. In: S. K. Abell and N. G. Lederman (eds.), *Handbook of Research on Science Education*, pp. 807-830. Oxford, England: Taylor & Francis, 2007

Barnea, N., Dori, Y. J., and Hofstein, A., Development and implementation of inquiry-based and computerized-based laboratories: reforming high school chemistry in Israel, *Chemistry Education Research and Practice*, 11, 218-228, 2010.

Bennett, J. and Lubben, F. Context-based Chemistry: The Salters approach, *International Journal of Science Education*, 28(9), 999–1015, 2006.

Bodner, G.; Hunter, W. and Lamba, S. C., What Happens When Discovery Laboratories Are Integrated into the Cu-

riculum at a Large Research University, *The Chemical Educator*, 3(3), 1, 1998.

Cacciatore, K. L. and Sevia, H., Teaching Lab Report Writing through Inquiry: A Green Chemistry Stoichiometry Experiment for General Chemistry, *Journal of Chemical Education*, 83(7), 1039-1041, 2006.

Cacciatore, K. L. and Sevia, H., Incrementally Approaching an Inquiry Lab Curriculum: Can Changing a Single Laboratory Experiment Improve Student Performance in General Chemistry?, *Journal of Chemical Education*, 86(4), 498-505, 2009.

Cheung, D., Teacher Beliefs about Implementing Guided-Inquiry Laboratory Experiments for Secondary School Chemistry, *Journal of Chemical Education*, 88(11), 1462-1468, 2011.

Dori, Y. J., Sasson, I., Kaberman, Z. & Herscovitz, O. Integrating Case-Based Computerized Laboratories into High School Chemistry, *The Chemical Educator*, 9(1), 4-8, 2004.

Espinosa-Bueno, J. S., Garritz, A., Labastida-Piña, D. V. y Padilla, K., Indagación. Las habilidades para desarrollarla y promover el aprendizaje. Parte II. El cuestionario y su aplicación (Editorial), *Educ. quím.*, 21(3), 190-198, 2010.

Espinosa-Bueno, J. S., Labastida-Piña, D. V., Padilla, K. y Garritz, A., Pedagogical Content Knowledge of Inquiry: An Instrument to Assess It and Its Application to High School In-Service Science Teachers, *US-China Education Review*, 8(5), 599-614, 2011.

Fay, M. E., Grove, N. P., Towns, M. H., and Bretz, S. L., A rubric to characterize inquiry in the undergraduate chemistry laboratory, *Chemistry Education Research and Practice*, 8(2), 212-219, 2007.

Farrell, J. J.; Moog, R. S. and Spencer, J. N., A Guided Inquiry General Chemistry Course, *Journal of Chemical Education*, 76, 570, 1999.

Garritz, A., Indagación: Las habilidades para desarrollarla y promover el aprendizaje, *Educ. quím.*, 21(2), 106-110, 2010.

Khan, S., Model-Based Inquiries in Chemistry, *Science Education*, 91, 877-905, 2007.

Kipnis, M. and Hofstein, A., The Inquiry Laboratory as a Source for Development of Metacognitive Skills, *International Journal of Science and Mathematics Education*, 6, 601-627, 2008.

Krajcik, J. S., Blumenfeld, P. C., Marx, R. and Soloway, E., Instructional, curricular, and technological supports for inquiry in science classrooms. In: J. Minstrell & E.H. van Zee (eds.), *Inquiring into inquiry: Science learning and teaching*. Washington, DC: American Association for the Advancement of Science, 2000.

Liu, O. L., Lee, H. S. and Linn, M. C. An Investigation of Teacher Impact on Student Inquiry Science Performance Using a Hierarchical Linear Model, *Journal of Research in Science Teaching*, 47(7), 807-819, 2010.

Lunetta V. N., Hofstein, A. & Clough, M., Learning and teaching in the school science laboratory: An analysis of re-

- search, theory, and practice. In: N. Lederman and S. Abel (eds.), *Handbook of Research on Science Education* (pp. 393-441). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum, 2007.
- Martin-Hansen L., Defining inquiry, *The Science Teacher*, 69, 34-37, 2002.
- Marx, R.W., Blumenfeld, P.C., Krajcik, J.S., and Soloway, E., Enacting project-based science, *Elementary School Journal*, 97, 341-358, 1997.
- Minner, D. D., Levy, A. J. and Century, J., Inquiry-Based Science Instruction — What Is It and Does It Matter? Results from a Research Synthesis Years 1984 to 2002, *Journal of Research in Science Teaching*, 47(4), 474-496, 2010.
- National Research Council. *National Science Education Standards*. Washington, DC: The National Academy Press, 1996.
- National Research Council. *Inquiry and the National Science Education Standards*. Washington, DC: The National Academies Press, 2000.
- Oliver-Hoyo, M. T., Allen, D., Hunt, W. F., Hutson, J. and Pitts, A., Effects of an Active Learning Environment: Teaching Innovations at a Research I Institution, *Journal of Chemical Education*, 81, 441, 2004.
- Parchmann, I., Gräsel, C., Baer, A., Nentwig, P., Demuth, R., Ralle, B. and The ChIK Project Group, "Chemie im Kontext": A symbiotic implementation of a context-based teaching and learning approach, *International Journal of Science Education*, 28(9), 1041-1062, 2006.
- Park Rogers, M. A. and Abell, S. K., The Design, Enactment, and Experience of Inquiry-Based Instruction in Undergraduate Science Education: A Case Study, *Science Education*, 92, 591-607, 2008.
- PROFILES, la página de este proyecto es <http://www.profiles-project.eu/>.
- Rajan, N. and Marcus, L., Student Attitudes and Learning Outcomes from Process Oriented Guided-Inquiry Learning (POGIL) Strategy in an Introductory Chemistry Course for Non-science Majors: An Action Research Study, *The Chemical Educator*, 14, 85-93, 2009.
- Reiff, R. R., *Scientists' perceptions of scientific inquiry: Revealing a private side of science*. Unpublished doctoral dissertation, Indiana University, Bloomington, 2004.
- Roehrig, G. H. and Luft, J. A. Inquiry Teaching in High School Chemistry Classrooms: The Role of Knowledge and Beliefs, *Journal of Chemical Education*, 81(10), 1510-1516, 2004.
- Rushton, G. T., Lotter, C., and Singer, J., Chemistry Teachers' Emerging Expertise in Inquiry Teaching: The Effect of a Professional Development Model on Beliefs and Practice, *Journal of Science Teacher Education*, 22, 23-52, 2011.
- Schwartz, R., and Lederman, N., "It's the nature of the beast": The influence of knowledge and intentions on learning and teaching nature of science, *Journal of Research in Science Teaching*, 39(3), 205-236, 2002.
- Schwartz, R. and Skjold, B., Teaching about Scientific Models in a Science Content Course, *Educ. quím.*, 23(4), este mismo número, 2012.
- Smithenry, D. W., Integrating Guided Inquiry into a Traditional Chemistry Curricular Framework, *International Journal of Science Education*, 32(13), 1689-1714, 2010.
- Sotiriou, S., Xanthoudaki, M., Calcagnini, S., Zervas, P., Sampson, D. G. and Bogner, F. X. (La versión en español se debe a Mario Barajas, Anna Trifonova, Joaquín Giménez, Silvia Alcaraz Domínguez, y Aureli Caamaño), *PATHWAY, Hacia la enseñanza de las ciencias por indagación*. Guía para profesores. Atenas, Grecia: EPINOIA S.A., 2012.
- van Rens, L., Pilot, A., and van der Schee, J. A Framework for Teaching Scientific Inquiry in Upper Secondary School Chemistry, *Journal of Research in Science Teaching*, 47(7), 788-806, 2010.
- van Rens, L. Pre-University Chemistry Inquiry Learning, *Educ. quím.*, 23(4), este mismo número, 2012.