

# Indagación: las habilidades para desarrollarla y promover el aprendizaje

Andoni Garritz\*

## ABSTRACT (Inquiry: Abilities to develop it and promote learning)

Inquiry is tried to be defined, facing troubles with the different meanings for inquiry that have been employed, and a historical outlook of the concept is presented, starting with Dewey, then with Schwab, the National Science Education Standards and some recent research papers that deal with the point, trying to develop a set of abilities necessary to do scientific inquiry in the classroom or the laboratory.

**KEYWORDS:** scientific inquiry, problem solving, abilities, evidence, communicate results

## Indagación: un concepto difícil de aprehender, dada su elusiva definición<sup>1</sup>

La indagación científica se refiere a las diversas formas en las cuales los científicos abordan el conocimiento de la naturaleza y proponen explicaciones basadas en las pruebas derivadas de su trabajo (NRC, 1996; p. 23). La indagación, como lo indica Schwab (1960; 1966; 1978) también se refiere a las actividades estudiantiles en las cuales se desarrollan conocimiento y entendimiento de las ideas científicas.

Desde 1990, Gordon E. Uno la definió como “un método pedagógico que combina actividades ‘manos a la obra’ con la discusión y el descubrimiento de conceptos con centro en el estudiante”.

Según los Estándares Nacionales de la Educación en Ciencias de los Estados Unidos (NSES, por sus siglas en inglés), la indagación está definida como un conjunto de actividades, ya que nos dicen que es:

Una actividad polifacética que implica hacer observaciones; plantear preguntas; examinar libros y otras fuentes de información para ver qué es lo ya conocido; planificar in-

vestigaciones; 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).

No obstante, los NSES no muestran una definición operacional precisa de la enseñanza a través de la indagación; lo mismo revela Anderson (1983), ya que existe una carencia de definiciones precisas en su estudio realizado de meta-análisis de gran escala. Dice el mismo Anderson luego en 2002 que en cierto sentido esa situación persiste hasta hoy y que la indagación es definida de forma diferente por diferentes investigadores, lo cual complica extraordinariamente el trabajo de la persona que intente sintetizar lo que dice la investigación sobre la enseñanza de la indagación. Esta categoría tan vasta incluye una amplia variedad de enfoques de tal forma que se torna poco específica y más bien vaga.

Lisa Martin-Hansen (2002) define varios tipos de indagación:

- **Indagación abierta:** Tiene un enfoque centrado en el estudiante que empieza por una pregunta que se intenta responder mediante el diseño y conducción de una investigación o experimento y la comunicación de resultados.
- **Indagación guiada:** Donde el profesor guía y ayuda a los estudiantes a desarrollar investigaciones indagatorias en el salón o el laboratorio.
- **Indagación acoplada:** La cual acopla la indagación abierta y la guiada.
- **Indagación estructurada:** Es una indagación dirigida primordialmente por el profesor, para que los alumnos lleguen a puntos finales o productos específicos.

Buck, Bretz & Towns (2008) discuten las diferentes definiciones de indagación y los muy diversos modificadores que siguen a la palabra “indagación” y llegan a la conclusión de que “los usos y significados de indagación como modos de instrucción e investigación estudiantil varían de un autor a otro y ante una u otra audiencia”. Brown *et al.* (2006, p. 786) describen con tacto el dilema y escriben “lo que hace difícil de en-

\* Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México. Av. Universidad 3000, Ciudad Universitaria, 04510 México, D.F.  
**Correo electrónico:** andoni@unam.mx

<sup>1</sup> En los debates hay que utilizar el término ‘prueba’ como la traducción de *evidence*, pues en castellano ‘evidencia’ significa otra cosa: ‘lo que no necesita ser probado’. El *Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española* (DRAE) da distintas acepciones de ‘prueba’, y combinándolas (con algunos añadidos) se puede definirla como: observación, hecho, experimento, señal, muestra o razón con la que se pretende mostrar que un enunciado es cierto o que es falso. En el contexto de la argumentación, las pruebas son entendidas como datos de naturaleza empírica o teórica que sirven para apoyar una conclusión. Desarrollar una perspectiva adecuada sobre la naturaleza de la ciencia requiere entender cómo se generan y validan las pruebas científicas (Bravo, Puig y Jiménez, 2009).

tender a esta investigación es la falta de acuerdo en lo que constituye un enfoque basado en la indagación. La mayor parte de la investigación ha tenido lugar en salones de clase en niveles previos al universitario que examinan los resultados de varios tipos de instrucción basada en la indagación. Estos estudios son difíciles de comparar dados los diferentes significados de la indagación que han empleado”.

No obstante toda esta diversidad de definiciones y opiniones con relación al concepto de indagación, nos preguntaremos, ¿qué capacidades promueve esta actividad? ¿Nos puede ayudar su detalle a buscar una definición apropiada?

### Introducción histórica

La inclusión de la indagación en el currículo de ciencias de la primaria y la secundaria fue recomendada por John Dewey (1910), quien en una época fue profesor de ciencias. Antes de 1900 la mayoría de los educadores razonaba que la ciencia era un conjunto de conocimientos que los estudiantes debían aprender por instrucción directa. Por contraste, Dewey consideraba que se daba demasiado énfasis a la acumulación de información sobre hechos y no tanto al pensamiento científico y a la actitud mental correspondiente. Él insistió en que los profesores utilizaran la indagación como una estrategia de enseñanza, aprovechando el método científico con sus seis pasos: detectar situaciones desconcertantes; aclarar el problema; formular una hipótesis tentativa; probar dicha hipótesis; revisarla a través de pruebas rigurosas y actuar sobre la solución. Interesante conocer estos pasos propuestos por Dewey para la realización de la indagación, pues empezamos a conocer las habilidades y capacidades que promueve. En el modelo de Dewey el estudiante es participativo y está involucrado activamente, mientras que el profesor es un guía y un facilitador.

Por su parte, Joseph Schwab (1966) creyó que los estudiantes habrían de ver la ciencia como toda una serie de estructuras conceptuales que deberían revisarse continuamente cuando fuera descubierta nueva información o nuevas pruebas. Años antes, Schwab (1960) había descrito dos tipos de indagación: la estable (un cuerpo de conocimientos creciente) y la emergente (invención de nuevas estructuras conceptuales que revolucionan la ciencia). Schwab consideró que la ciencia debería enseñarse de una forma consistente con la manera en la que opera la ciencia moderna. Estimulaba a los profesores de ciencia a emplear el laboratorio para ayudar a los alumnos a estudiar los conceptos científicos. Recomendaba que la ciencia se enseñara en un formato de indagación. Lateralmente al uso de la investigación de laboratorio para estudiar los conceptos científicos a través de la indagación, los estudiantes podrían leer informes o libros sobre investigaciones y tener discusiones sobre problemas relevantes, datos, el papel de la tecnología, la interpretación de los datos y alcanzar cualquier tipo de conclusión obtenida por los científicos. Schwab llamó a este proceso “indagación dentro de la indagación (*enquiry into enquiry*)” (Barrow, 2006).

En 1996, el National Research Council de los Estados Unidos publica los *National Science Education Standards*, en don-

de se coloca a la indagación en el primer plano como estrategia para la enseñanza de la ciencia. Sólo hasta 2007 se ha dado un movimiento similar en Europa en el que la enseñanza basada en la indagación ha tomado la pauta de la educación en ciencia (Rocard *et al.*, 2007).

### En la búsqueda de las actividades que promueve la indagación

En la búsqueda de las capacidades que promueve la indagación nos encontramos con el siguiente listado de habilidades para indagar especificadas en NRC (1996, pp. 175-6) para el nivel de bachillerato:

1. Identificar preguntas y conceptos que guíen las investigaciones (los estudiantes formulan una hipótesis probable y un diseño experimental apropiado para ser utilizado);
2. Diseñar y conducir investigaciones científicas (con el empleo de conceptos claros y bien definidos, el equipo apropiado, precauciones de seguridad, empleo de tecnologías, etc., los estudiantes deben buscar pruebas, aplicar la lógica, poner a prueba sus hipótesis y construir un argumento para las explicaciones propuestas);
3. Utilizar las tecnologías más apropiadas y la matemática para mejorar las investigaciones y su comunicación;
4. Formular y revisar las explicaciones y modelos científicos mediante el empleo de la lógica y las pruebas científicas (la indagación estudiantil debiera resultar en una explicación o un modelo plausible o científico);
5. Reconocer y analizar explicaciones y modelos alternativos (revisar el entendimiento científico actual y reunir pruebas para determinar cuáles explicaciones del modelo son las mejores);
6. Comunicar y defender un argumento científico (los estudiantes deben refinar sus habilidades y reunir presentaciones orales y por escrito que involucren las respuestas a los comentarios críticos de sus pares).

En el año 2000, las academias estadounidenses y el NRC publicaron el libro *Inquiry and the National Science Education Standards*, en el que toman las siguientes actividades como importantes para la realización de la indagación en el aula por parte de los aprendices:

- Ser atraídos por preguntas orientadas científicamente;
- Dar prioridad a las pruebas, lo que les permite desarrollar y evaluar explicaciones que pongan atención a las preguntas orientadas científicamente;
- Evaluar las explicaciones a la luz de explicaciones alternas, particularmente de aquellas que reflejen el entendimiento científico;
- Comunicar y justificar las explicaciones propuestas.

Como ejemplos de investigaciones recientes sobre el tema de la indagación, citaremos como relevantes las siguientes: (Eick, 2000; Bell *et al.*, 2003; Abd-El-Khalick *et al.*, 2004; Bybee, 2004; Flick, 2004; Lederman, 2004; Schwartz, Lederman y

**Tabla 1.** Habilidades requeridas para hacer indagación científica.

| Capacidades necesarias para realizar la indagación científica                                | Entendimientos acerca de la indagación científica                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Identificar preguntas que puedan ser respondidas a través de la investigación científica.    | Diferentes tipos de preguntas sugieren diferentes clases de investigaciones científicas.                                                                                                                                       |
| Diseñar y conducir una investigación científica.                                             | El conocimiento científico actual y el entendimiento guían las investigaciones científicas.                                                                                                                                    |
| Usar herramientas apropiadas y técnicas para reunir, analizar e interpretar datos.           | Las matemáticas son importantes en todos los aspectos de la indagación científica.                                                                                                                                             |
| Desarrollar descripciones, explicaciones, predicciones y modelos al utilizar las pruebas.    | La tecnología empleada para reunir los datos eleva la precisión y permite a los científicos analizar y cuantificar los resultados de la investigación.                                                                         |
| Pensar crítica y lógicamente para establecer la relación entre las pruebas y la explicación. | Las explicaciones científicas hacen énfasis en las pruebas, poseen argumentos lógicamente consistentes y utilizan principios científicos, modelos y teorías.                                                                   |
| Reconocer y analizar explicaciones alternas y predicciones.                                  | La ciencia avanza debido al escepticismo legítimo.                                                                                                                                                                             |
| Comunicar procedimientos científicos y explicaciones.                                        | Las investigaciones científicas en ocasiones resultan en nuevas ideas y fenómenos dignos de estudio, generan nuevos métodos o procedimientos para investigar, o desarrollan nuevas técnicas para mejorar la recogida de datos. |
| Usar matemáticas en todos los aspectos de la indagación científica.                          |                                                                                                                                                                                                                                |

Crawford, 2004; Garritz, 2006; Barrow, 2006; Khan, 2007; Akerson y Hanuscin, 2007).

Con relación a las actividades de la indagación French y Russell (2002, pp. 1036-7) nos indican:

La instrucción basada en la indagación pone más énfasis en el estudiante como científico. Coloca la responsabilidad en los estudiantes de plantear hipótesis, diseñar experimentos, hacer predicciones, escoger las variables independientes y dependientes, decidir cómo analizar los resultados, identificar las suposiciones subyacentes, y otras cuestiones. Se espera que los estudiantes comuniquen sus resultados y apoyen sus propias conclusiones con los datos que colectaron. En los laboratorios basados en la indagación los conceptos que hay detrás de los experimentos se deducen durante el trabajo en el lab; los resultados son desconocidos de antemano, aunque predecibles, porque los estudiantes diseñaron los experimentos. Los resultados que no apoyan las hipótesis de los estudiantes no son vistos como una falla, sino como una oportunidad para que ellos repiensen cualquier error conceptual que tengan (pp. 1036-7).

Bybee (2004) nos presenta la tabla 1 que contiene las habilidades requeridas para hacer indagación científica y las comprensiones derivadas de ese ejercicio.

Por su parte, Samia Khan (2007) plantea las siguientes actividades básicas de la indagación:

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

Lederman (2004) caracteriza a los profesores indagadores según tres enfoques:

*Implícito:* Se sugiere que “haciendo ciencia” los estudiantes entenderán la naturaleza de la ciencia y la indagación científica;

*Histórico:* Al incorporar la historia de la ciencia en la enseñanza va a servir para que los estudiantes refuercen su visión de la naturaleza de la ciencia y la indagación científica (algunos autores incluyen este enfoque dentro del tercero, el explícito; Acevedo, 2009);

*Explícito:* Este término es utilizado para hacer énfasis en que la enseñanza de la naturaleza de la ciencia y la indagación científica debe tratarse como cualquier otro contenido, es decir “debe ser planeado en lugar de anticipar sus efectos como colaterales o de un producto secundario”, deben considerarse como contenidos y no como estrategias.

Como un resumen de todas estas actividades informadas para realizar indagación hemos obtenido de varias referencias el siguiente resumen de las actividades que se llevan a cabo durante la indagación en el aula o el laboratorio (Garritz, Espinosa, Labastida y Padilla, 2009):

1. Identificar y plantear preguntas que puedan ser respondidas mediante la indagación;
2. Definir y analizar bien el problema a resolver e identificar sus aspectos relevantes;
3. Reunir información bibliográfica para 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 (Reflexionar sobre las observaciones y fomentar la búsqueda de patrones en la información; Generar relaciones hipotéticas y pruebas entre las variables; Postular factores causales potenciales; Evaluar la consistencia empírica de la información; Hacer uso de analogías y/o de la intuición para ayudar a conceptualizar los fenómenos; Formular y manipular modelos físicos y mentales; Utilizar herramientas apropiadas y técnicas para reunir, analizar e interpretar datos; Pensar crítica y lógicamente para desarrollar predicciones, explicaciones y modelos empleando las pruebas; Coordinar los modelos teóricos con la información; Evaluar las explicaciones alcanzadas, con algún modelo científico; Comunicar hechos y procedimientos científicos en la clase);

7. Compartir con otros mediante argumentación lo que ha sido aprendido a través de indagación.

Se ha referido múltiples veces como importante la realización de investigación como una de las herramientas para cultivar la indagación a través del laboratorio químico (Cruz-Garritz, Chamizo & Torrens, 1989; Craig, 1999; Slezak, 1999; Lindsay & McIntosh, 2000; Hutchison & Atwood, 2002). Por esa razón se ha incluido la investigación como una de las siete actividades para llevar a cabo la indagación y se ha desglosado en varias sub-actividades en el apartado 6.

En el área de la química, una quinta de ejemplos de la indagación en el laboratorio químico son los de Tien, Rickey & Stacy, 1999; Lechtanski (2000); Mason, 2002; Chatterjee, Williamson, McCann & Peck (2009) y Buck & Towns (2009).

## Conclusión

Concluimos haber reunido un conjunto de siete actividades que promueve la indagación y con ello esperamos haber reducido el embrollo alrededor de la definición de la misma; es decir, insistiremos que si se promueven estas siete actividades se está realizando indagación en el aula o el laboratorio. En otra editorial retomaremos el punto con los resultados de aplicar un cuestionario y entrevistas a cinco profesores indagadores para ver en concreto y específicamente cómo conciben la acción de indagar con sus estudiantes.

El grupo de Física de la Universidad de Washington en Seattle, comandado en un principio por Arnold B. Arons y actualmente por Lilian C. McDermott y Peter S. Shaffer, se ha caracterizado por el empleo de la indagación como una guía para el aprendizaje de la física. Se cierra esta editorial con unas preguntas que se hace McDermott (1991), las cuales hacen reflexionar sobre las virtudes de la indagación como una estrategia para promover el razonamiento científico en los estudiantes:

¿Qué valor debemos darle a la adquisición del conocimiento descriptivo en contraste con las habilidades de razonamiento científico? ¿Esperamos que los estudiantes desarrollen suficiente pericia en el razonamiento cualitativo como para poder interpretar nuevas situaciones físicas en térmi-

nos de los conceptos que han sido desarrollados? ¿Queremos que los estudiantes vean a la ciencia como un conocimiento estático —un cuerpo de hechos establecidos— o como un proceso dinámico, una manera de indagar sobre el mundo natural? ¿Cuánto énfasis debemos poner en cómo sabemos a diferencia de qué sabemos? ¿Qué tan importante es que los estudiantes reconozcan qué es y qué no es prueba científica y qué es y qué no es una explicación científica?

## Referencias

- Abd-El-Khalick, F., Boujaoude, S., Duschl, R., Lederman, N. G., Mamlouk-Naaman, R., Hofstein, A., Niaz, M., Treagust, D. & Tuan, H.-L., Inquiry in science education: international perspectives, *Science Education*, 88(3), 397-419, 2004.
- Acevedo, J. A., Enfoques explícitos versus implícitos en la enseñanza de la naturaleza de la ciencia, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(3), 355-386, 2009. Puede consultarse de la URL <http://www.apac-eureka.org/revista/Larevista.htm>
- Akerson, V. L. & Hanuscin, D. L., Teaching nature of science through inquiry: results of a 3-year professional development program, *Journal of Research in Science Teaching*, 44(5), 653-680, 2007.
- Anderson, R. D., A consolidation and appraisal of science meta-analyses, *Journal of Research in Science Teaching*, 20(5), 497-509, 1983.
- Anderson, R. D., Reforming Science Teaching: What Research says about Inquiry, *Journal of Science Teacher Education*, 13(1), 1-12, 2002.
- Barrow, L. H., A Brief History of Inquiry: From Dewey to Standards, *Journal of Science Teacher Education*, 17, 265-278, 2006.
- Bell, R. L., Blair, L. M., Crawford, B. A. & Lederman, N. G., Just do it? Impact of a science apprenticeship program on high school students' understandings of the nature of science and scientific inquiry, *Journal of Research in Science Teaching*, 40(5), 487-509, 2003.
- Bravo, B.; Puig, B. y Jiménez-Aleixandre, M. P. Competencias en el uso de pruebas en argumentación, *Educ. quím.*, 20(2), 137-142, 2009.
- Brown, P. L., Abell, S. K., Demir, A. & Schmidt, F. J., College Science Teachers' Views of Classroom Inquiry, *Science Education*, 90(5), 784-802, 2006.
- Buck, L. B. & Towns, M. H., Preparing Students to Benefit from Inquiry-Based Activities in the Chemistry Laboratory: Guidelines and Suggestions, *Journal of Chemical Education*, 86(7), 820-822, 2009.
- Buck, L. B., Bretz, S. L. & Towns, M. H., Characterizing the Level of Inquiry in the Undergraduate Laboratory, *Journal of College Science Teaching*, 38(4), 52-56, 2008.
- Bybee, R. W. Scientific inquiry and science teaching. En: Flick, L. B. y Lederman, N. G. (eds.), *Scientific inquiry and nature of science: implications for teaching, learning, and teacher education* (Chapter 1; pp. 1-14). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2004.
- Chatterjee, S., Williamson, V. M., McCann, K. & Peck, M. L., Surveying Students' Attitudes and Perceptions toward Guided-Inquiry and Open-Inquiry Laboratories, *Journal of Chemical Education*, 86(12), 1427-1432, 2009.
- Craig, N., The Joys and Trials of Doing Research with Undergraduates, *Journal of Chemical Education*, 76(5), 595-598, 1999.

- Cruz-Garriz, D., Chamizo, J. A. & Torrens, H., Early research, *Journal of Chemical Education*, **66**(4), 320-321, 1989.
- Dewey, J., Science as subject-matter and as method, *Science*, **31**, 121-127, 1910.
- Eick, C. J., Inquiry, nature of science, and evolution: the need for a more complex pedagogical content knowledge in science teaching, *Electronic Journal of Science Education*, **4**(3), 2000. Puede consultarse en la URL [http://ejse.southwestern.edu/original%20site/manuscripts/v4n3/articles/art03\\_eick/eick.html](http://ejse.southwestern.edu/original%20site/manuscripts/v4n3/articles/art03_eick/eick.html)
- Flick, L., Developing understanding of scientific inquiry in secondary students. En: L. Flick & N. G. Lederman (eds.), *Scientific inquiry and nature of science: implications for teaching, learning, and teacher education* (Chapter 8; pp. 157-172). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2004.
- French, D. & Russell, C., Do Graduate Teaching Assistants Benefit from Teaching Inquiry-Based Laboratories?, *Bioscience*, **52**(11), 1036-1041, 2002.
- Garriz, A., Naturaleza de la ciencia e indagación: cuestiones fundamentales para la educación científica del ciudadano, *Revista Iberoamericana de Educación*, **42**, 127-152, 2006.
- Garriz, A., Espinosa Bueno, J. S., Labastida Piña, D. V. y Padilla, K., El conocimiento didáctico del contenido de la indagación. Un instrumento de captura, *Memorias del X Congreso Mexicano de Investigación Educativa*, Veracruz, México, 21-25 de septiembre de 2009.
- Hutchison, A. R. & Atwood, D. A., Research with First- and Second-Year Undergraduates: A New Model for Undergraduate Inquiry at Research Universities, *Journal of Chemical Education*, **79**(1), 125-126, 2002.
- Khan, S., Model-Based Inquiries in Chemistry, *Science Education*, **91**, 877-905, 2007.
- Lechtanski, V. L., *Inquiry-Based Experiments for Chemistry*, New York: Oxford University Press, 247 pp. ISBN 0-8412-3570-8, 2000.
- Lederman, N. G., Syntax of nature of science within inquiry and science instruction. In: L. B. Flick, & N. G. Lederman (eds.), *Scientific inquiry and nature of science: implications for teaching, learning, and teacher education* (Chapter 14; pp. 301-317). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2004.
- Lindsay, H. & McIntosh, M., Early Exposure of Undergraduates to the Chemistry Research Environment: A New Model for Research Universities, *Journal of Chemical Education*, **77**, 1174-1175, 2000.
- Martin-Hansen, L., Defining inquiry, *The Science Teacher*, **69**(2), 34-37, 2002.
- Mason, D. S., Inquiry Methods in Chemistry, *Journal of Chemical Education*, **79**(3), 281, 2002.
- McDermott L. C., Millikan Lecture 1990: What we teach and what is learned = Closing the gap, *American Journal of Physics*, **59**, 301-315, 1991.
- NRC, National Research Council, *National Science Education Standards*. Washington, DC: Academic Press, 1996.
- NRC, National Research Council, *Inquiry and the National Science Education Standards*. Washington, DC: National Academy Press, 2000.
- Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Wallberg-Henriksson, H. & Hemmo, V. *Science Education now: a Renewed Pedagogy for the Future of Europe*. Brussels: European Commission, Directorate-General for Research, 2007.
- Schwab, J., Enquiry, the science teacher, and the educator, *The Science Teacher*, **27**, 6-11, 1960.
- Schwab, J., *The teaching of science*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1966.
- Schwab, J. J., *Science, curriculum and liberal education*, Chicago, University of Chicago Press, 1978.
- Schwartz, R., Lederman, N. G. & Crawford, B. A., Developing views of nature of science in an authentic context: an explicit approach to bridging the gap between nature of science and scientific inquiry, *Science Education*, **88**(4), 610-645, 2004.
- Slezak, J., Student-Inspired Undergraduate Research, *Journal of Chemical Education*, **76**(8), 1054-1055, 1999.
- Tien, L. T., Rickey, D. & Stacy, A. M., The Model-Observe-Reflect-Explain (MORE) thinking frame: guiding students' thinking in the laboratory, *Journal of College Science Teaching*, **28**(5), 318-324, 1999.
- Uno, G. E., Inquiry in the classroom, *BioScience*, **40**(11), 841-843, 1990.

## DIRECTORIO

### CONSEJO DIRECTIVO

Dr. Francisco Barnés de Castro  
Director Fundador

Dr. Eduardo Bárcana García  
Facultad de Química, UNAM

Dr. Guillermo Delgado Lama  
Sociedad Química de México

Ing. Héctor Eduardo Ochoa López  
Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos

Ramón Domínguez Betancourt  
Colegio Nacional de Ingenieros Químicos y Químicos

QFI Carmen Margarita Rodríguez Cueva  
Asociación Farmacéutica Mexicana

Dra. Tessa María López Goerne  
Academia Mexicana de Química Inorgánica

Ing. Rafael Tapia Garibay  
Comité Permanente de Enseñanza de la Ingeniería

Dra. Rosa Isabel Sierra Amor  
Asociación Mexicana de Bioquímica Clínica

Jorge Javier Ramírez García  
Asociación Mexicana de Química Analítica

### Director

Andoni Garriz Ruiz  
(andoni@servidor.unam.mx)

### Subdirectora

Gisela Hernández Millán  
(ghm@servidor.unam.mx)

### Editor: Arturo Villegas

(arturovr@gmail.com)

### Consejo Editorial

Carlos Amador Bedolla  
Silvia Bello Garcés  
Adela Castillejos Salazar  
Carlos Mauricio Castro  
José Antonio Chamizo  
Laura Gasque Silva  
Carmen Giral  
Enrique González Vergara  
Hermilo Goñi  
Gisela Hernández  
Jorge G. Ibáñez Cornejo  
Glinda Irazoque  
Rafael Martínez Peniche  
Ana Martínez Vázquez  
María Teresa Merchand Hernández  
Adolfo Obaya Valdivia  
Laura Ortiz  
Aarón Pérez Benítez  
Clemente Reza  
Pilar Rius de la Pola  
Alberto Rojas  
Yadira Rosas  
Plinio Sosa Fernández

### Consejo Editorial Internacional

Marcela Arellano (Universidad Católica de Valparaíso, Chile)

Marta Bulwik (Argentina)

Luis Cortés (Universidad Central, Venezuela)

José Claudio del Pino (Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil)

Cecilia I. Díaz V. (Panamá)

Manuel Fernández Núñez (Universidad de Cádiz, España)

Gabriel A. Infante (Pontificia Universidad Católica de Puerto Rico)

Mercé Izquierdo Aymerich (Universidad Autónoma de Barcelona, Catalunya)

Maria Gabriela Lorenzo (Universidad de Buenos Aires, Argentina)

Manuel Martínez Martínez (Universidad de Santiago, Chile)

Santiago de Vicente Pérez (Universidad Nacional de Educación a Distancia, España)

Mario Quintanilla Gatica (Pontificia Universidad Católica de Chile)

Andrés Raviolo (Universidad Nacional del Comahue, Argentina)

Teresa Reguero (Universidad Nacional de Colombia)

Vicente Talanquer Artigas (University of Arizona, USA)

Jesús Vázquez-Abad (Université de Montréal, Canadá)

Amparo Vilches (Universitat de València, España)

Lourdes Zumalacárregui (Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Cuba)

### Edición electrónica

Caligrafía Digital, SC / (55) 4352 2030  
educacion.quimica@gmail.com

### Asistentes coordinadores

Gabriela Araujo, Filiberto Chávez

### Impresión

Formación Gráfica, SA de CV  
Matamoros # 112, Col. Raúl Romero  
Tel. (55) 5797 6060  
57630, Edo. de México.

### Grupo de Apoyo a Educación Química

Suscripciones benefactoras adquiridas  
José Luis Mateos Gómez  
(Fundador) Francisco Barnés de Castro  
Adela Castillejos Salazar  
José María García Sáiz/Dr. Gustavo Tavizón  
Alvarado/Kira Padilla/Zoila Nieto Villalobos/  
Rodolfo Álvarez Manzo/Dr. Jesús Guzmán  
García/Ing. Eduardo Rojo y de Regil/  
Q. Silvia Bello Garcés/María del Carmen  
Wacher Rodarte/Kira Padilla/  
Eneko Belausteguigoitia/Antonio Valiente