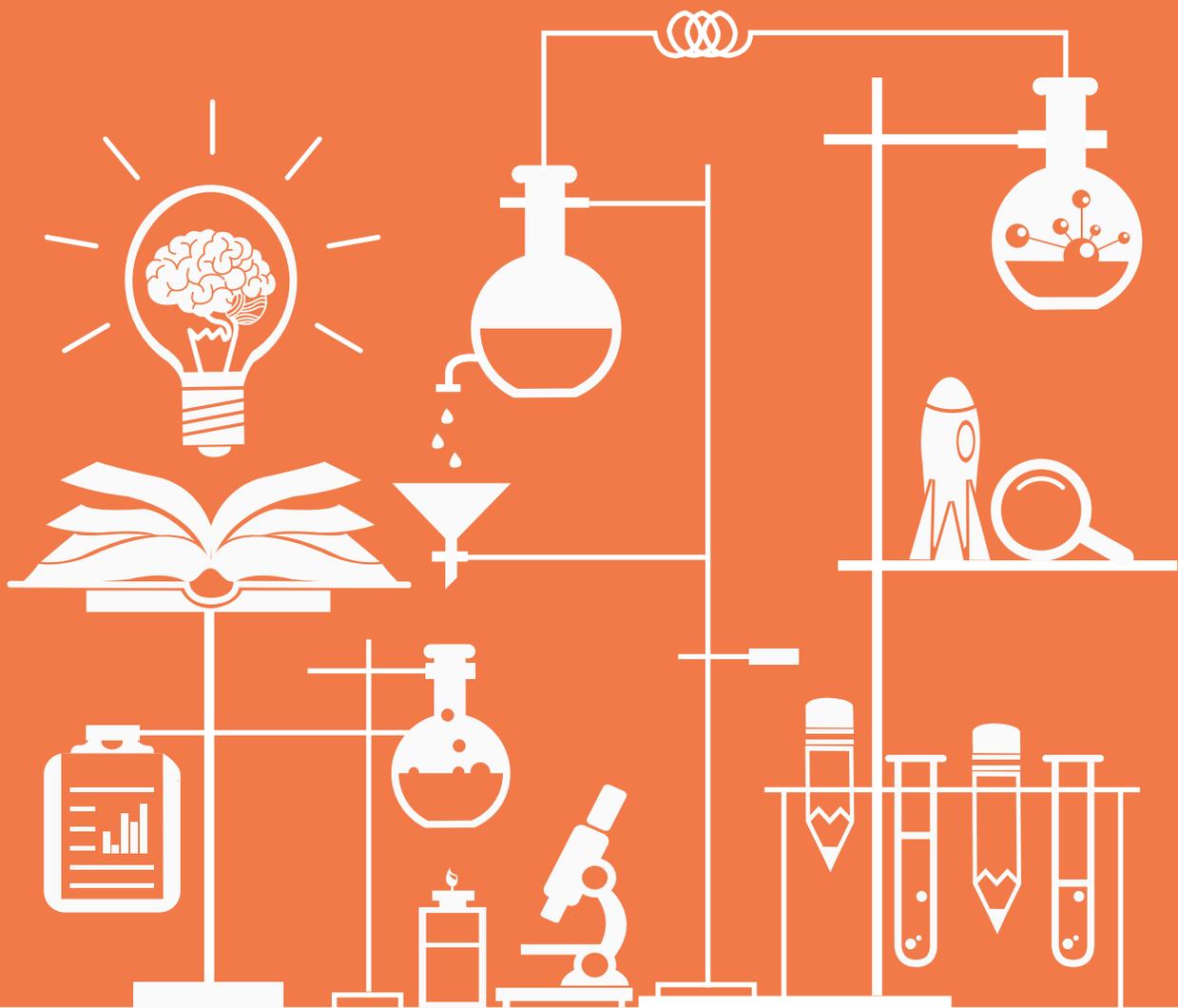


La Enseñanza de la Ciencia en la Educación Básica

Antología sobre Indagación

Teorías y Fundamentos de
la Enseñanza de la Ciencia Basada en la Indagación



La Enseñanza de la Ciencia en la Educación Básica

Antología sobre Indagación

Teorías y Fundamentos de
la Enseñanza de la Ciencia Basada en la Indagación

D. R. © 2016, Innovación en la Enseñanza de la Ciencia, A.C. (INNOVEC)
San Francisco 1626 int. 205
Del Valle, 03100. Ciudad de México.
www.innovec.org.mx

1ª. Edición, diciembre de 2016

La Enseñanza de la Ciencia en la Educación Básica

*Antología sobre Indagación. Teorías y Fundamentos de la Enseñanza de la Ciencia
Basada en la Indagación*

ISBN 978-607-96833-2-0 (Obra completa)

ISBN 978-607-96833-7-5 (Volumen)

Hecho e impreso en México

Textos: © Catalina Everaert Maryssael, Wynne Harlen, Bruce Alberts, Rodger Bybee y
Carol O'Donnell

Edición y revisión de textos: Claudia Mariela Robles González, Catalina Everaert Maryssael
y Abril Estefanía Jara Pérez

*Otorgando el debido crédito se podrá hacer uso de la publicación sin necesidad de
solicitar permiso por escrito a INNOVEC A.C.*

ÍNDICE

PRESENTACIÓN

5

.....

LA INDAGACIÓN Y LAS TEORÍAS SOBRE EL APRENDIZAJE

Catalina Everaert Maryssael

9

.....

FUNDAMENTOS E IMPLEMENTACIÓN DE LA ENSEÑANZA DE LA CIENCIA BASADA EN LA INDAGACIÓN

Wynne Harlen

21

.....

ALGUNOS PENSAMIENTOS DE UN CIENTÍFICO ACERCA DE LA INDAGACIÓN

Bruce Alberts

37

.....

ENSEÑANZA DE LA CIENCIA BASADA EN LA INDAGACIÓN

Rodger Wayne Bybee

49

.....

RESULTADOS DE UN ESTUDIO DE VALIDACIÓN DE CINCO AÑOS DEL **MODELO *LASER***:

UN ENFOQUE SISTÉMICO Y SUSTENTABLE PARA LOGRAR ALTOS NIVELES

EN LOS ESTÁNDARES DE LA EDUCACIÓN EN CIENCIAS

Carol O'Donnell

61

.....

PRESENTACIÓN

Para INNOVEC resulta gratificante concretar este segundo volumen de la Antología sobre Indagación, concebida principalmente como un recurso de apoyo para los docentes que implementan en sus aulas la enseñanza de la ciencia basada en la indagación. Queremos destacar que desde el momento en que se hizo la invitación a los especialistas para colaborar en esta Antología, se obtuvo una respuesta positiva unánime y entusiasta. Por tanto, agradecemos profundamente su generosa contribución que da cuenta de su gran compromiso con elevar la calidad de la educación científica. Por otro lado, este documento refrenda la importancia de establecer redes de colaboración y nos muestra cómo el intercambio de ideas enriquece los procesos de aprendizaje. De manera sintética podemos decir que las ideas que exponen los autores nos ayudan a comprender las bases teóricas que dan sustento a la pedagogía indagatoria, los componentes que la caracterizan desde la práctica, los elementos que la distinguen de una enseñanza expositiva o tradicional, el tipo de recursos curriculares que permiten hacer realidad este enfoque de enseñanza y las evidencias recabadas a partir de la investigación que demuestran su efectividad.

Una mirada más detallada al contenido de esta Antología nos permite identificar las bases teóricas del aprendizaje que dan fundamento a la pedagogía indagatoria que se abordan en el primer artículo. A la vez, esta comprensión sobre el sentido y la razón pedagógica de las estrategias didácticas que promueve la enseñanza de la ciencia basada en la indagación nos lleva al desarrollo de una práctica docente más eficaz.

El segundo artículo nos brinda una reseña clara de lo que significa la enseñanza de la ciencia basada en la indagación. Presenta sintéticamente las visiones modernas sobre el aprendizaje que sustentan este enfoque de enseñanza, haciendo referencia a las bases teóricas en las que se apoya y a estudios recientes que demuestran su efectividad para que los estudiantes logren una verdadera comprensión del conocimiento científico. Se describe también cómo el aprendizaje a través de la indagación requiere y desarrolla habilidades y actitudes que son necesarias para el desempeño de los individuos y las sociedades en el mundo actual. Se señala que una de las implicaciones de implementar la enseñanza de la ciencia basada en la indagación es evitar los programas curriculares de educación científica sobresaturados de contenidos, para enfocar la atención a ciertas ideas o principios generales que permitan la comprensión progresiva de los fenómenos del mundo natural y artificial que nos rodea. Otra aportación de este artículo que resulta de gran utilidad para la

labor docente es la descripción puntual de las prácticas que permiten transitar de una pedagogía expositiva a una enseñanza indagatoria en el aula, entre ellas el incorporar prácticas de evaluación formativa.

El tercer artículo se retoma de una publicación previa del autor por la vigencia que conservan sus argumentos a favor de la enseñanza de la ciencia basada en la indagación en el contexto educativo actual. Con un discurso fresco y cercano, el autor nos contagia la emoción que genera la exploración del mundo a través del desarrollo de habilidades de razonamiento científico. Con ejemplos que toma de su propia práctica, nos muestra la diferencia entre una enseñanza centrada en la memorización de conceptos científicos y la enseñanza indagatoria enfocada a que los estudiantes alcancen la comprensión del conocimiento. Nos invita a guiarlos al descubrimiento, a la búsqueda de procesos para la resolución de problemas y a ofrecerles verdaderas oportunidades de aprendizaje en las que pongan a prueba algunas de sus ideas. El autor sostiene que la importancia de desarrollar habilidades de indagación radica en que no sólo nos permiten conocer nuestro entorno sino que estas habilidades son de gran utilidad para resolver muchos de los problemas con los que nos enfrentamos a nivel laboral y en la vida cotidiana. Con base en ello nos recuerda que la vocación docente debe alentar la curiosidad de los estudiantes y dotarlos de los recursos necesarios para que lleven a cabo procesos de indagación exitosos que trasciendan el contexto escolar y que promuevan el aprendizaje a lo largo de la vida. Igualmente, hace una invitación abierta a la comunidad científica a vincular su actividad con la práctica docente que ocurre en las aulas para fortalecer el sistema escolar.

Más de treinta años de experiencia en el desarrollo curricular de programas de enseñanza de la ciencia basada en la indagación dan sustento al trabajo presentado en el cuarto artículo. En él se reconoce las dificultades que enfrentan los docentes al poner en práctica la enseñanza de la ciencia basada en la indagación ya que requiere de habilidades para integrar el desarrollo de conceptos y de procesos. Como recursos que ayuden al docente a superar estos retos, el autor recurre a describir la indagación científica, a presentar un modelo de enseñanza diseñado con base en el ciclo de aprendizaje de cinco fases y a referir una propuesta curricular de enseñanza de la ciencia en idioma español diseñada a partir de este modelo de enseñanza.

Finalmente, la contribución del último artículo presenta un estudio de evaluación realizado de manera rigurosa cuya evidencia demuestra que la enseñanza de la ciencia basada en la indagación mejora el aprovechamiento de los estudiantes, no solamente en ciencias sino también en lectura y matemáticas. A lo largo del artículo se describe con detalle las características y resultados de este estudio

longitudinal realizado por parte del Centro Smithsonian para la Educación en Ciencias con el apoyo del Departamento de Educación de los Estados Unidos de América. Su objetivo fue conocer el impacto en el logro de aprendizaje de los estudiantes de educación primaria y secundaria de la aplicación del modelo para transformar la educación científica basado en la indagación conocido como Liderazgo y Ayuda para la Reforma de Educación en Ciencias (*Leadership and Assistance for Science Education Reform, LASER*). El estudio encontró grandes diferencias en el resultado del aprendizaje, sobre todo en cuanto a pruebas de desempeño, entre estudiantes que utilizaron el material desarrollado por *LASER* y estudiantes de grupos control.

Estas son sólo algunas de la ideas que destacan los autores. Por lo tanto, lo invitamos constatar por sí mismo la riqueza de los textos y disfrutar su lectura.

CATALINA EVERAERT MARYSSAEL

Se graduó como Bióloga en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Realizó la especialización en estadística aplicada en el Instituto de Matemáticas Aplicadas y Sistemas de la misma universidad. Obtuvo el grado de Maestra en Investigación y Desarrollo de la Educación por la Universidad Iberoamericana.

Desarrolló programas y materiales educativos para la enseñanza de la ciencia a nivel primaria en la iniciativa privada durante 12 años. Ha escrito libros de texto y de divulgación científica. Actualmente forma parte del equipo de INNOVEC, en donde se desempeña como Jefa de Proyecto.



LA INDAGACIÓN Y LAS TEORÍAS SOBRE EL APRENDIZAJE

.....

FUNDAMENTOS PSICOPEDAGÓGICOS QUE DAN SUSTENTO A LA ENSEÑANZA DE LA CIENCIA BASADA EN LA INDAGACIÓN

INTRODUCCIÓN

La enseñanza de la ciencia basada en la indagación busca que el estudiante comprenda las ideas científicas y que desarrolle un pensamiento científico lógico y crítico basado en el razonamiento, la argumentación, la experimentación, la comunicación y la utilización de la información. Para ello el enfoque indagatorio contempla una serie de estrategias metodológicas que resultan efectivas al estar alineadas con los resultados de la investigación educativa sobre cómo aprenden los estudiantes y en particular sobre cómo aprenden ciencia. El modelo indagatorio incorpora las aportaciones de las teorías del aprendizaje con la naturaleza misma de la ciencia para permitir al estudiante apropiarse de un cuerpo de conceptos científicos básicos así como de los procesos que se requieren para generar dicho conocimiento. A continuación presentamos una breve descripción de cómo las propuestas del constructivismo, del aprendizaje significativo y del trabajo colaborativo son algunas de las bases teóricas que se articulan y complementan para dar sustento a la pedagogía indagatoria.

ALGUNAS REFLEXIONES ALREDEDOR DEL CONSTRUCTIVISMO

El modelo indagatorio sostiene que los estudiantes construyen el conocimiento y desarrollan una comprensión más profunda a través de la experiencia, es decir, se fundamenta en la filosofía del aprendizaje constructivista (Kirschner, Sweller y Clark, 2006; Lewis, 2006; NRC, 2000; citados en Nadelson, 2009). Si bien actualmente se reconoce que el aprendizaje requiere de la participación activa del estudiante para que construya su comprensión, vale la pena detenerse a considerar

qué implica pedagógicamente esta afirmación ya que históricamente existen diversas vertientes del constructivismo. Por un lado, tenemos el constructivismo cognitivo que se enfoca en la construcción personal de significado y en las teorías que los individuos desarrollan alrededor de los fenómenos naturales, como resultado de su interacción personal con los eventos físicos de la vida diaria (Piaget, 1970; Carey, 1985; Carmichel et al., 1990; Pfundt y Duit, 1985 citados en Driver et al. 1994). Por otro lado, tenemos el constructivismo sociocultural que plantea que el individuo no se relaciona únicamente de forma directa con su ambiente, sino también a través de y mediante la interacción con los demás individuos. Bajo este enfoque el proceso de aprendizaje tiene dos componentes fundamentales, la construcción inicial que ocurre a través de la interacción social y posteriormente la construcción individual, como resultado de incorporar internamente el producto de la socialización.

El aprendizaje de la ciencia como una construcción del individuo

Piaget postuló que las personas formamos y desarrollamos estructuras cognitivas cuando interactuamos con los objetos del mundo que nos rodea y cuando internalizamos las acciones que llevamos a cabo. Al enfrentar experiencias más complejas, estas estructuras cognitivas evolucionan como resultado de un proceso de adaptación al que Piaget llamó de equilibrio. La adaptación implica el cambio de la estructura intelectual a través de la interacción con el entorno. Consiste de dos procesos simultáneos y complementarios: acomodación y asimilación (Bybee, 2015). Las nuevas estructuras surgen al modificar los viejos esquemas. De esta manera el desarrollo intelectual se visualiza como una adaptación progresiva de las estructuras cognitivas al entorno físico (Driver et al., 1994). Durante el procesamiento, la mente opera con la información ya almacenada o asimilada en la memoria de largo plazo. Si se le encuentra sentido a la nueva información, se da un nuevo equilibrio mental, de otro modo, si esta información es rechazada, se genera un desequilibrio (Piaget, 1963; Johnstone, 1997, citados en Lamba 2005). La acomodación es el proceso cognitivo que ocurre al encontrarle o no, sentido a la nueva información. Los aprendices generan activamente el conocimiento a partir de experiencias basadas en las ideas o conceptos previos. Para llevar a cabo un cambio conceptual, cada individuo debe construir su propio significado de acuerdo a sus experiencias. Esta visión del aprendizaje tiende a enfocarse en el papel de la lógica interna y en el proceso de pensamiento racional para encausar el cambio conceptual hacia los conceptos científicos prevalecientes. El constructivismo individualizado se enfoca en los procesos cognitivos internos del individuo pero no considera la influencia de los factores externos. Bajo esta perspectiva las estrategias de enseñanza deben ofrecer a los estudiantes actividades prácticas que desafíen sus ideas previas y que los motiven a confrontar estas ideas o teorías personales.

Los docentes deben enfocarse en el conocimiento que posee el individuo y estar conscientes de que el aprendizaje es un proceso continuo. Bajo la perspectiva del constructivismo cognitivo se considera que el estudiante es el responsable de su aprendizaje y que la enseñanza debe ofrecer oportunidades y apoyo para el aprendizaje (Tyler 2002a citado en Skamp, 2012).

El aprendizaje de la ciencia como una construcción social del conocimiento

Lev Vygotsky planteó que el aprendizaje ocurre en un contexto social. Su teoría señala que aunque el conocimiento se construye en el interior del sujeto, son los factores externos sociales y culturales los que permitirán que ocurra dicha construcción individual. Desde esta perspectiva el conocimiento y la comprensión, incluidos la comprensión científica, se construyen cuando los individuos se involucran socialmente en prácticas y en actividades sobre problemas o metas comunes. Darle sentido a los conceptos, es por lo tanto, un proceso dialógico que involucra la conversación entre las personas. El aprendizaje es visto como el proceso por el cual algún miembro con mayores habilidades presenta una cultura al aprendiz, estructurándole tareas que le sea posible desempeñar y a través de las cuales pueda internalizar el proceso. Cuando esto ocurre, los individuos se apropian de las herramientas culturales involucrándose en las actividades de esa cultura (Driver et al., 1994). Vygotsky (1979) atribuye un origen social al discurso, el cual con el tiempo adquiere una directriz individualista que culmina en un pensamiento verbalizado introspectivamente. El conocimiento se construye en el interior del sujeto, en su estructura intelectual interna, pero son los factores externos y condiciones sociales que facilitarán o dificultarán dicha construcción individual (Marin, 2004, citado en Mora Muñoz, 2010). Las experiencias se manifiestan originalmente a nivel social a través de la interacción con otros miembros de la cultura, para posteriormente transformarse en experiencias de orden personal mediante el proceso de internalización.

Para Vygotsky (1979) existen dos tipos de funciones mentales: las inferiores o elementales y las superiores. Las inferiores son aquellas con las que nacemos, son las funciones naturales y están determinadas genéticamente. Las funciones mentales superiores se adquieren y se desarrollan a través de la interacción social. Estas funciones son determinantes para el proceso de aprendizaje. Las funciones mentales superiores o habilidades psicológicas se desarrollan en dos momentos. En el primero aparecen en el sujeto cuando resultan de la adquisición de esa función a través de la interacción con otras personas, esto es, en el ámbito social y en un segundo momento, cuando ya pertenecen al individuo mismo, es decir, en el ámbito individual.

Otro elemento fundamental del constructivismo sociocultural que explica el tránsito de la experiencia a nivel social hacia la experiencia de orden personal, es el concepto de la Zona de Desarrollo Próximo (ZDP). Ésta se entiende como “la distancia entre el nivel real de desarrollo, determinado por la capacidad de resolver independientemente un problema, y el nivel de desarrollo potencial, determinado a través de la resolución de un problema bajo la guía de un adulto o en colaboración con otro compañero más capaz” (Vygotsky, 1979, p.133).

El aprendizaje, por lo tanto, es el resultado de enfrentar al estudiante con contenidos socialmente relevantes (para su grupo, su comunidad, el estado, la nación, la región o el mundo), para ser discutidos con el grupo o pequeños grupos atendiendo a una intencionalidad educativa, para luego ser internalizada a través de la generación de zonas de desarrollo próximo para que el estudiante alcance los objetivos planteados.

Este enfoque del conocimiento construido socialmente tiene implicaciones importantes en la enseñanza de la ciencia ya que considera que el proceso de construcción del conocimiento surge a través de la culturización por medio de prácticas discursivas científicas o algún otro tipo específico de prácticas científicas (Edwards y Mercer, 1987; Lemke, 1990, citados en Driver et al., 1994). Aprender ciencia implica participar de las maneras científicas de conocer. Es poco probable que los individuos descubran todas las ideas científicas exclusivamente a través de su indagación empírica. De acuerdo con el constructivismo social el aprendizaje de las ciencias involucra introducir al individuo a las ideas y prácticas de la comunidad científica para que le sean significativas; la enseñanza debe acercar a los estudiantes a la manera en que se genera y se valida el conocimiento científico, esto es, toma en cuenta la naturaleza de la ciencia. Como señala Harré (1986, citado en Driver, et al. 1994) el conocimiento científico es conocimiento socialmente construido, validado y posteriormente hecho público a través de las instituciones científicas, culturales y sociales. El docente funge como mediador para que el conocimiento científico sobre el mundo natural tenga un sentido personal para los aprendices. En términos pedagógicos esta perspectiva difiere del enfoque empirista.

Mientras que la construcción individual del conocimiento considera primordiales para el aprendizaje las experiencias físicas, la perspectiva constructivista social reconoce que el aprendizaje involucra al mundo simbólico (que puede ser el uso del lenguaje y otras formas de representación simbólica como las imágenes). Algunos investigadores han visto la necesidad de ir más allá del constructivismo puramente individualista y argumentan que el aprendizaje de la ciencia debe ser visualizado como un proceso de culturización dentro de las prácticas de las

comunidades intelectuales (Cobb, 1994). El contexto social y cultural dentro del que los estudiantes aprenden tiene un impacto en sus ideas. Por lo tanto las actividades y sus contextos no pueden ser apartados del aprendizaje que deriva de ellos. Por ello en ocasiones se llama a este enfoque aprendizaje situado o aprendizaje basado en el contexto. La interacción con el maestro y con los pares es parte integral del contexto y del entendimiento de cómo ocurre el aprendizaje.

La integración de perspectivas socioconstructivistas del aprendizaje con la enseñanza usando actividades científicas participativas o vivenciales mejora o favorece la construcción del conocimiento a través de la indagación (Lave, 1998; Rogoff, 1994; Solomon, 1998; Vygotsky, 1978; Wood, Cobb y Yackel, 1992, citados en Crawford, 2000).

Si a los aprendices se les da acceso no sólo a las experiencias físicas sino también a los sistemas de la ciencia (conceptos y modelos), los procesos de construcción de conocimiento van más allá de la experiencia empírica. El reto reside en ayudar a los estudiantes a apropiarse de estos conocimientos por sí mismos, identificar los dominios donde tienen aplicabilidad y en esos dominios ser capaces de usarlos. La intervención del maestro es esencial para proveer evidencias apropiadas a partir de la experiencia y para hacer que las herramientas y convenciones culturales sean accesibles para el estudiante en el ámbito de un salón de clases (Driver et al., 1994). Bajo la perspectiva social del constructivismo se hace mayor énfasis en los procesos sociales que operan en el aula por medio de los cuales el docente promueve una comunidad discursiva en la que los estudiantes y el docente co-construyen el conocimiento. Las perspectivas socioculturales enfatizan el aprendizaje situado así como el papel del lenguaje y de los símbolos (Tyler 2002a citado en Skamp, 2012).

El aprendizaje por construcción individual y por culturización

El modelo pedagógico indagatorio sostiene la complementariedad del aprendizaje por construcción individual y por culturización, lo cual tiene implicaciones para la enseñanza.

Los maestros deben brindar el apoyo teórico para facilitar a los estudiantes la reconstrucción de sus propios conocimientos en un proceso de interacción con los objetos de su entorno pero también con otros miembros de la cultura, para que se involucren en procesos más elaborados de pensamiento y de resolución de problemas. El aprendizaje de la ciencia ocurre en el plano social y en el individual y puede ser visto en dos dimensiones: una en la que se adquiere y se desarrollan ideas y otra en la que se participa en una comunidad de aprendizaje, que bien puede ser el salón de clases de ciencias.

De acuerdo a Skamp (1998, citado en Boddy, et al., 2003) este enfoque al que él refiere como constructivismo social neo-piagetano, contribuye a la enseñanza y al aprendizaje efectivos ya que promueve un aprendizaje vivencial que genera gran motivación entre los estudiantes y el desarrollo de habilidades de pensamiento de orden superior. Como hemos visto, la teoría constructivista reconoce que los estudiantes tienen cierta visión de los fenómenos del mundo y asume que los estudiantes necesitan ser expuestos a experiencias de aprendizaje que los habiliten para construir su propio conocimiento en sinergia con sus visiones existentes. Los estudiantes necesitan que se les de la oportunidad de pensar sobre los fenómenos, reconsiderar sus ideas al respecto y construir su propio conocimiento para que vivan la experiencia de un cambio conceptual (Osborne y Freyberg, 1985). Este proceso de construcción se enriquece y complementa gracias al intercambio de ideas entre pares. El intercambio social promueve una construcción conceptual más completa y profunda.

En particular, cuando se trata del conocimiento de ciencia y tecnología, hay que tomar en cuenta que es un campo del conocimiento que está en constante transformación. Lo que es relevante hoy puede ser obsoleto el día de mañana. Por ello los estudiantes deben desarrollar habilidades que les ayuden a beneficiarse del cambio, necesitan pensar convergente y divergentemente para investigar desafíos y problemas así como para pensar de manera compleja y creativa (O'Tuel y Bullard, 1995, citado en Boddy et al., 2003). Estas habilidades son habilidades de pensamiento de orden superior algunas veces conocidas como habilidades de pensamiento crítico que pueden y deben ser enseñadas a los estudiantes de todas las edades (Wilks, 1995 citado en Boddy et al., 2003). Adquirir conocimiento, desarrollar comprensión y su aplicación son niveles más bajos de pensamiento. Los niveles más altos incluyen el análisis, la síntesis y la evaluación. Las experiencias de aprendizaje enfocadas en torno a estos niveles desarrollan habilidades en la resolución de problemas, la inferencia, la estimación, la predicción, generalización y el pensamiento crítico (Wilks, 1995, citado en Boddy et al., 2003). Estas experiencias de aprendizaje ocurren en el plano individual y partir de la interacción social. El desarrollo de pensamiento de orden superior beneficia a todos los estudiantes porque los motiva a hacer preguntas, a contestarlas de manera inteligente y a compartir sus ideas con otros (Heiman y Slomianko, 1987, citado en Boddy et al., 2003). La visión constructivista de la enseñanza y el aprendizaje basados en la indagación complementa la dimensión individual y la social, incorpora habilidades de pensamiento de orden superior porque motiva la exploración, la indagación y la experiencia directa con los materiales y con la información; además, con el propósito de hacer visibles sus ideas, los estudiantes son motivados a compartir sus experiencias con los otros y con ello a la vez enriquecen su propia comprensión (Brooks, 1990, citado en Boddy et al., 2003).

EL PAPEL DE LAS IDEAS PREVIAS Y EL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO EN LA INDAGACIÓN

Los niños tienen un deseo fuerte e innato de dar sentido a su mundo. Constantemente su cerebro recibe información sensorial que es acompañada de una creciente habilidad motora y cognitiva. Para ellos es esencial organizar toda esta información. La manera en que los niños comienzan a estructurar la información en sus mentes depende de varios factores, entre ellos sus experiencias personales, su temperamento, su personalidad y su cultura. Cuando estos factores se conjuntan los niños elaboran sus teorías sobre qué es y cómo funciona el mundo que los rodea (*National Academy of Sciences, 1997*).

Uno de los principios básicos de una visión constructivista sobre la enseñanza y el aprendizaje, es que los maestros necesitan identificar las ideas previas de los estudiantes antes de pretender enseñar nuevos conceptos, porque de otra forma, es probable que el nuevo conocimiento no desplace los conceptos y experiencias previas aprendidos en su vida, mismos que pueden inclusive ser contrarios al conocimiento científico validado que se pretende enseñar (Driver, 1983, citado en Boddy et al., 2003). De acuerdo a Resnik (1983), los educandos tratan de relacionar la información nueva con lo que ya conocen de manera que puedan interpretar este nuevo material en relación a los esquemas que han establecido previamente. Este hecho tiene implicaciones para la educación pues subraya la importancia de promover que el estudiante, desde los primeros años de primaria, vaya conformando esa base de experiencias que usará de referencia para construir su comprensión. Aquí la pedagogía indagatoria juega un papel medular. El maestro debe proveer al estudiante un acercamiento a estas experiencias siguiendo un enfoque científico para que su comprensión sobre los fenómenos derive de las evidencias que aportan dichos fenómenos y no de ideas erróneas o creencias que se tuvieron sobre ello. En ocasiones el maestro deberá fomentar que el estudiante complemente y/o profundice sobre esas ideas previas si es que están sincronía con el conocimiento científico validado.

En otros casos, deberá generar procesos de deconstrucción/reconstrucción. Esto es poner especial atención en buscar y fomentar procesos de enseñanza a través de los cuales el estudiante cuestione sus propias preconcepciones (en ocasiones ideas erróneas) y las contraste con evidencias que recabe de la exploración de determinado fenómeno. Al generar estos ambientes de aprendizaje se promueve en los estudiantes el desarrollo de habilidades de pensamiento de orden superior.

La Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel (1968) ayuda a comprender mejor el papel de las ideas previas en los procesos educativos. Ausubel considera que el aprendizaje puede ser memorístico o por descubrimiento. El primero

ocurre por medio de la transmisión de contenidos terminados hacia el estudiante que es el receptor. Simplemente interesa que el estudiante logre reproducirlos. El autor recomienda disminuir, en lo posible, este tipo de aprendizaje.

El aprendizaje por descubrimiento es aquél en el que el contenido se ofrece de forma inacabada para que el estudiante lo analice, lo reorganice, establezca las relaciones y luego asimile los principios. Ausubel lo define como la relación que se da entre la nueva información proveniente del ambiente y los conceptos pertinentes que el estudiante posee en su estructura cognoscitiva, dicha relación permite al estudiante construir nuevos significados. Para que ocurra el aprendizaje por descubrimiento es necesario que se cumplan las siguientes condiciones:

- 1) El contenido que será aprendido debe poseer una estructura lógica, es decir, ser potencialmente significativo,
- 2) La estructura cognitiva previa del individuo debe poseer ideas relevantes relacionadas con el nuevo material,
- 3) El individuo debe presentar una disposición positiva para realizar la integración entre el nuevo material a aprender y los conceptos pertinentes de su estructura cognoscitiva.

El aprendizaje significativo implica que la nueva información debe poderse relacionar e incluir bajo conceptos más generales e inclusivos. Por otro lado, debe ser un proceso continuo. En los procesos de enseñanza y de aprendizaje los nuevos conceptos alcanzan mayores significados a medida que van adquiriendo nuevas relaciones con otros conceptos. A este fenómeno Ausubel lo llama diferenciación progresiva, donde los significados iniciales difieren del significado final a medida que se avanza progresivamente en la comprensión de los nuevos contenidos. Esto último implica que los conceptos no se aprenden total y definitivamente, siempre se están modificando y relacionando nuevamente. Las estrategias de enseñanza de la metodología indagatoria están alineadas con esta propuesta y encaminan al estudiante a transitar de las percepciones conceptuales generales a una comprensión más profunda de los contenidos.

Otro principio del aprendizaje significativo de Ausubel es la reconciliación integradora, donde el aprendizaje consiste en reconocer nuevas relaciones o vínculos entre conceptos o conjuntos de conceptos o proposiciones, lo que establece una mejora en la calidad del aprendizaje logrado. En este aspecto es importante que el individuo sea consciente de las nuevas relaciones y que éstas desplacen a las más antiguas al ser superiores. La metodología indagatoria motiva este proceso particularmente a través las actividades de reflexión y de

aplicación de los aprendizajes a nuevas situaciones en las que se integran los conocimientos construidos y se acomodan las relaciones y jerarquías entre los conceptos de los contenidos curriculares aprendidos (Mora Muñoz, 2010).

EL APRENDIZAJE COLABORATIVO

Para finalizar esta reflexión sobre los fundamentos psico-pedagógicos de la enseñanza de la ciencia basada en la indagación, cabe mencionar la contribución del aprendizaje colaborativo. El hecho de organizar a los estudiantes en grupos de trabajo no asegura la construcción social del aprendizaje. Para que esto ocurra, el docente debe generar un ambiente en el que los estudiantes no sólo se distribuyan las tareas sino que desarrollen la corresponsabilidad en el cumplimiento de los objetivos, esto es, que todos sean responsables de aprender y que ayuden a otros a aprender. En este sentido podemos destacar que los estudiantes que se involucran en el trabajo colaborativo mejoran su aprendizaje ya que:

- Se enfrentan a la exposición de ideas variadas, múltiples expectativas y diferentes métodos de resolución de problemas
- Generan desequilibrios cognitivos que estimulan el aprendizaje, la creatividad y el desarrollo cognitivo social
- Se involucran en un pensamiento más elaborado, dan y reciben más explicaciones, adoptan con más frecuencia puntos de vista personales para discutir. Esto aumenta la profundidad de la comprensión, la calidad del razonamiento y la precisión de la retención a largo plazo (Johnson y Johnson 1999; citado en Mora Muñoz, 2010).

Otro aspecto importante del trabajo colaborativo es el desarrollo de habilidades sociales para lograr un objetivo conjunto y el éxito del grupo. Dentro de su grupo de trabajo los estudiantes exponen sus ideas, escuchan y comentan las de sus compañeros, de tal forma que actúan como lo haría una comunidad científica de investigadores. En este proceso desarrollan habilidades sociales como la tolerancia y el respeto a las ideas de otros.

Existe evidencia que relaciona el verdadero trabajo colaborativo con la mejora en el cambio conceptual y la indagación científica (Metz, 1998; Treagust, 2007; citados en Skamp, 2012). De ahí que el trabajo colaborativo y el aprendizaje colaborativo resultante, sea uno de los fundamentos teóricos de la pedagogía indagatoria.

REFLEXIONES FINALES

Como hemos podido constatar a lo largo de este texto, la enseñanza de la ciencia basada en la indagación, es una propuesta pedagógica sólidamente sustentada en las aportaciones de la investigación. El propósito de hacer esta breve revisión de los fundamentos teóricos implícitos en la metodología indagatoria, es proveer un recurso que facilite su aplicación en el aula de manera más efectiva.

En la medida en que se tenga mayor claridad sobre el sustento y la intención pedagógica de las estrategias metodológicas que incorpora la enseñanza de la ciencia basada en la indagación, se contará con más elementos para lograr los alcances planteados. Es importante comprender no sólo el *cómo* sino también el *por qué* de las estrategias de enseñanza. Por ejemplo, las aportaciones de Ausubel nos señalan la relevancia de conocer las ideas previas de los estudiantes y de ahí el sentido de aplicar desde el inicio estrategias didácticas como la lluvia de ideas para conocer lo que los estudiantes conocen o piensan sobre el contenido curricular en cuestión. La visión del constructivismo cognitivo nos da luz sobre las implicaciones de orientar al estudiante a hacer predicciones o de proveer experiencias de aprendizaje de primera mano con los fenómenos naturales. Nos ayuda a entender la relevancia de realizar un experimento y recabar evidencias. Por otro lado, las ideas de Vygotsky nos dejan claro que un proceso de enseñanza de la ciencia basada en la indagación sin una discusión entre pares o una discusión grupal o sin reflexionar sobre lo que se conoce o se comprende, puede quedar inconcluso. En suma, la complementariedad de las teorías del aprendizaje nos ayudan a encontrar el sentido y la razón pedagógica que subyace detrás de cada práctica didáctica para guiar a los estudiantes a construir progresivamente su comprensión sobre los conceptos científicos, a apropiarse del lenguaje de la ciencia y la tecnología a partir de sus ideas y experiencias con su entorno, a hacer uso de sus aprendizajes aplicándolos en beneficio propio y de la sociedad.

REFERENCIAS

- Ausubel, D.P. (1968). *Educational psychology: a cognitive view*. New York, Holt, Rinehart and Winston.
- Boddy, N., Kevin Watson y Peter Aubusson.(2003). A Trial of the Five Es: A Referent Model for Constructivist Teaching and Learning. *Research in Science Education* 33:27-42,2003.
- Bybee, R. W. (2015) *The BSCS 5E Instructional Model. Creating Teachable Moments*. National Science Teachers Association Press. Arlington, Virginia. 126 pp.
- Cobb, P. (1994), *Constructivism in Mathematics and Science Education*. *Educational Research*, Vol. 237, p.4 Oct.1994.
- Crawford, B.A. (2000). *Embracing the Essence of Inquiry: New Roles for Science Teachers*. *Journal of Research in Science Teaching*. Vol. 37, No. 9, pp. 916-937
- Driver, R., Asoko, H., Leach, E., Mortimer, E. y Scott, Ph. (1994). *Constructing Scientific Knowledge in the Classroom*. *Educational Researcher*, (Oct., 1994), Vol. 23, No. 7. pp. 5-12.
- Lamba, R.S. (2005) *El ciclo de aprendizaje. Implicaciones para la enseñanza de las ciencias naturales*. VII Congreso Nacional de Investigación Educativa. Conferencias magistrales. COMIE. AC.
- Mora Muñoz, L.A. (2010). *Fundamentos y perspectivas de la metodología indagatoria. La indagación como modelo de enseñanza de las ciencias en Chile*. Editorial Académica Española, Alemania.
- Nadelson, L.S., (2009) *How Can True Inquiry Happen in K-16 Science Education?* *Science Education* Vol. 18, No.1 Spring 2009.48-57p.
- National Academy of Sciences (1997) *Science for All Children: A guide to Improving Elementary Science Education in Your School District*. National Academy Press. Washington, D.C.,USA.
- Osborne, R. y Freyberg, P. (1985) *El aprendizaje de las ciencias. Implicaciones de las ideas previas de los alumnos*. Narcea, S.A. de Ediciones Madrid. 301pp.
- Resnik, L.B. (1983) *Mathematics and Science learning: a new conception*. *Science* (April 29, 1983):478
- Skamp, K., (2012). *Teaching Primary Science Constructively*. Thomson Learning Australia 4th edition. 554pp.
- Vygotsky, L.S. (1979). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Buenos Aires, Argentina. Editorial Grijalbo.

WYNNE HARLEN

Estudió en la Universidad de Oxford obteniendo Grado Honorífico en Física y obtuvo su Doctorado en la Universidad de Bristol.

Además de ser profesora y de dedicarse a la investigación y evaluación en enseñanza de la ciencia, ha desempeñado cargos de gran relevancia como consultora y codirectora de proyectos de investigación de la Fundación Nacional de Ciencia de los Estados Unidos (NSF) y presidente del grupo de científicos expertos para el proyecto PISA de la OCDE. Dirigió el Consejo Escocés de Investigación Educativa. Actualmente tiene un cargo honorario como Profesor visitante en la Universidad de Bristol.



FUNDAMENTOS E IMPLEMENTACIÓN DE LA ENSEÑANZA DE LA CIENCIA BASADA EN LA INDAGACIÓN



INTRODUCCIÓN

La enseñanza basada en la indagación es ampliamente sustentada como la ruta para desarrollar la comprensión, las competencias y las actitudes necesarias en la actualidad para todos los ciudadanos de nuestras sociedades, cada vez más tecnologizadas. Puede verse la pertinencia de esta afirmación en el papel central de la indagación en muchos proyectos y programas de educación científica internacionales y en los planes de estudios nacionales (currículo) alrededor del mundo. Sin embargo, las afirmaciones acerca de la efectividad de la Enseñanza de la Ciencia Basada en la Indagación (ECBI) no siempre están acompañadas por evidencia ni argumentos convincentes, por lo que es blanco de críticas por parte de escépticos que consideran el término confuso y abierto a distintas interpretaciones. Por lo tanto, es importante aclarar cómo las afirmaciones hechas acerca de ECBI pueden ser sustentadas. En este artículo se presentan argumentos a favor de ECBI, así como una discusión de lo que significa (y lo que no significa) en la práctica. Se enfatiza que, además de la evidencia empírica de que la indagación “funciona”, hay varias razones teóricas de peso en favor de implementar la indagación en la enseñanza de la ciencia, basadas en las visiones modernas sobre el aprendizaje y sobre la manera en que tiene lugar. Se utiliza un modelo particular para mostrar cómo el aprendizaje a través de la indagación requiere y desarrolla habilidades y actitudes necesarias para los individuos y las sociedades en el mundo actual. En la sección final, se dirige la atención a las implicaciones que tiene implementar ECBI en el contenido del currículo y en la evaluación de los estudiantes.

LOS ORÍGENES DE LA INDAGACIÓN

La indagación, basada en reconocer el papel activo de los niños al desarrollar sus ideas y su comprensión, no es una noción nueva en la educación. Los estudios de Piaget y los argumentos de Dewey, entre otros, en la primera mitad del siglo XX, así como las ideas previas de Rousseau (1712-1778), Pestalozzi (1746-1827) y Froebel (1782-1852), dirigen la atención a la importancia del papel que desempeñan en el aprendizaje de los niños, la curiosidad, la imaginación, la necesidad de interactuar e indagar. Estos educadores se preocuparon por la educación en general, no específicamente por el aprendizaje de la ciencia. Sin embargo, sus ideas fueron aplicadas con entusiasmo durante la ola de innovación en la educación científica que tuvo lugar en los años sesentas y setentas. Esta larga historia puede ser una de las razones de que, a través del tiempo, se hayan relacionado con la indagación tantas interpretaciones y expectativas distintas. Sin embargo, en todas ellas el énfasis está en la *comprensión*.

LA INDAGACIÓN Y LAS TEORÍAS SOBRE EL APRENDIZAJE

Cuando hablamos de comprensión, es importante aclarar la manera en que se diferencia de “conocimiento”. La visión actual sobre el aprendizaje concluye que la comprensión es construida por los propios estudiantes a través de su actividad mental (y física). No es algo realizado por otros que pueda simplemente recibirse; involucra *generar* más que *adquirir* conocimientos.

Una propiedad de la comprensión es que las ideas son continuamente construidas y reconstruidas por los estudiantes, así que constituye una característica cambiante de la manera en que una persona le encuentra sentido al mundo que la rodea. Esta concepción de la comprensión tiene implicaciones en cómo puede alcanzarse y nos lleva a considerar cómo se genera el aprendizaje.

Las distintas teorías sobre el aprendizaje pueden agruparse bajo tres perspectivas principales (Watkins, 2003):

- Conductismo: puede resumirse como “aprender está condicionado a lo que se nos enseña”.
- Constructivismo cognitivo: “aprender es lograr la comprensión a nivel individual”.
- Constructivismo sociocultural: “aprender es construir el conocimiento colectivamente”.

La primera perspectiva, *Conductismo*, en su forma más sencilla, involucra la memorización y la aplicación de premios y castigos. Tal como se describió, esta forma pasiva de recibir el aprendizaje, claramente no contribuye a generar comprensión. Sin embargo, desarrollar la comprensión requiere la participación activa de los estudiantes para construir su propio aprendizaje.

Esto corresponde a la visión del aprendizaje del *Constructivismo cognitivo*: los estudiantes le encuentran sentido a experiencias nuevas a partir de sus ideas previas y competencias.

Las perspectivas actuales del aprendizaje, identificadas como *Constructivismo sociocultural*, consideran que el aprendizaje no es de hecho un proceso individual, sino que tiene lugar a través de la interacción social. Según este punto de vista, la comprensión resulta de encontrarle sentido a experiencias nuevas mediante la interacción con otros, en lugar de hacerlo individualmente. En situaciones sociales, un individuo toma lo que necesita de una experiencia o discusión conjunta, con el fin de construir su propia comprensión, y luego aporta esta comprensión a la discusión grupal. Así, los participantes están continuamente recibiendo y aportando, y la comprensión se construye de manera comunitaria a través de la interacción social y el diálogo.

Los recursos físicos y el lenguaje también desempeñan papeles importantes (James, 2012). Dado que el lenguaje, el cual es crucial para nuestra capacidad de pensar, se desarrolla interactuando con otros, esto significa que las interacciones sociales son importantes para el aprendizaje. Así el aprendizaje es visto como una actividad social y colaborativa, donde la gente desarrolla sus pensamientos conjuntamente. En el aula, la interacción entre estudiantes y con los docentes se da principalmente de persona a persona, pero aprender de y con otros también puede tener lugar en forma escrita. De hecho, al enfrentarse a un problema o proyecto nuevo, los investigadores, al igual que los estudiantes, primero revisan la literatura existente para saber qué es lo que otros han escrito sobre el tema.

ARGUMENTOS Y EVIDENCIAS PARA EL APRENDIZAJE BASADO EN LA INDAGACIÓN

Para entender lo que esto significa en la práctica, se deben considerar las actividades de los estudiantes cuando aprenden de esta manera:

- Trabajar en equipo
- Explorar y manipular materiales físicos
- Establecer la relación con sus ideas y experiencias previas
- Plantear preguntas
- Comunicar sus ideas
- Escuchar las ideas de otros
- Razonar
- Argumentar a partir de la evidencia

Todas estas actividades se reconocen como indicadores del trabajo basado en la indagación. Por lo tanto, una razón importante para aprender a través de la indagación es que concuerda con la visión actual sobre cómo ocurre el aprendizaje con comprensión.

Esto ayuda a proporcionar de alguna manera argumentos teóricos para el aprendizaje a través de la indagación. Sin embargo, antes de asegurar que un enfoque indagatorio conduce al aprendizaje con comprensión, es necesario presentar evidencias empíricas de que la indagación funciona en la práctica. ¿Hay evidencia empírica que indique que realmente se obtienen los beneficios sugeridos por la teoría?

Hasta hace poco, resultaba difícil responder a esa pregunta de manera contundente. Una de las razones es que, antes de tratar de evaluar el aprovechamiento que resulta de una educación basada en la indagación, es importante asegurarse de que los estudiantes considerados en la investigación realmente hayan vivido y experimentado la enseñanza basada en la indagación. Lo más frecuente, es que esto no haya ocurrido. A pesar de los diversos programas activos para difundir el aprendizaje y la enseñanza a través de la indagación, en muchos países dichos procesos apenas empiezan a integrarse a la práctica docente en el aula. Dada esta situación, tratar de medir el resultado demasiado pronto puede fácilmente generar datos poco confiables respecto al impacto de la indagación. Un segundo punto a considerar es la falta de instrumentos para medir el tipo de aprovechamiento esperado.

Sin embargo, ahora ya hay evidencia convincente del efecto de implementar ECBI. La realización de una evaluación longitudinal del modelo basado en la indagación para transformar la educación científica conocido como Liderazgo y Ayuda para la Reforma de Educación en Ciencias (*Leadership and Assistance for Science Education Reform, LASER*), ha proporcionado evidencia clara del efecto de la indagación, no sólo en cuanto al desempeño en ciencias de los estudiantes sino también respecto a lectura y matemáticas. Un estudio de evaluación sobre el impacto de *LASER*, patrocinado por el Departamento de Educación de Estados Unidos de América, encontró diferencias importantes en el resultado del aprendizaje, sobre todo en cuanto a pruebas de desempeño, entre estudiantes que utilizaron el material desarrollado por *LASER* y estudiantes de grupos de control. En las pruebas estatales estandarizadas de lectura y de matemáticas, los estudiantes de las escuelas *LASER* mejoraron sus resultados más que los de otras escuelas (ver O'Donnell en esta publicación).

Hay entonces evidencia, tanto teórica como empírica, que apoya la aplicación de la indagación en la enseñanza de la ciencia. Pero, ¿cómo funciona? ¿Qué procedimientos pueden conducir a que las ideas se transformen y se desarrollen a través de la indagación?

UN MODELO DE APRENDIZAJE A TRAVÉS DE LA INDAGACIÓN

Indagación es un término usado en la educación y en la vida cotidiana, para referirse a buscar explicaciones o información mediante la formulación de preguntas. Suele considerarse sinónimo de investigación, estudio o “búsqueda de la verdad”. En lo que respecta a la educación, existe el potencial de aplicar la indagación en varias materias, como historia, geografía, artes, así como a ciencias, matemáticas, tecnología e ingeniería, mediante la formulación de preguntas, la recopilación de evidencia y la consideración de explicaciones posibles. En cada área se desarrollan diferentes tipos de conocimientos y de comprensión. Lo que distingue a la *indagación científica* es que conduce al desarrollo de conocimientos y comprensión acerca del mundo físico, tanto natural como artificial.

En la Figura 1 se muestra un modelo de la manera en que las ideas se ponen a prueba a través de la indagación, conduciendo al desarrollo de ideas más amplias. El proceso comienza tratando de entender un fenómeno o de responder a una pregunta sobre el por qué algo se comporta de cierta manera o presenta una forma determinada. La exploración inicial identifica características que se relacionan con ideas procedentes de experiencias previas, lo que conduce a explicaciones posibles (“*Creo que podría ser...*”, “*Vi algo parecido cuando...*”, “*Se parece un poco a...*”). Puede haber varias propuestas interesantes; mediante la discusión, se escoge una hipótesis para dar la posible explicación, la cual se pone a prueba. Trabajando de manera científica, los participantes de la indagación proceden a ver cómo la idea existente que escogieron es útil mediante una predicción basada en la hipótesis, pues sólo las ideas con poder predictivo son útiles. Para poner a prueba la predicción, se recopilan y analizan datos nuevos sobre el fenómeno o problema, lo que constituye evidencia que se compara con el resultado predicho. Se trata de la secuencia “plantear una predicción → planear y realizar una investigación → interpretar datos”, que puede repetirse varias veces si se desea poner a prueba más de una predicción.

A partir de los resultados de poner a prueba una o más predicciones, puede llegarse a una conclusión tentativa acerca de la idea inicial. Si la explicación es buena, dicha idea no sólo se confirma, sino que se vuelve más poderosa (“más grande”) porque puede explicar una mayor cantidad de fenómenos. Incluso si no “funciona” y es necesario proponer otra idea, la experiencia ayuda a refinarla, pues saber que la idea inicial no funciona también es útil (Harlen, 2015).

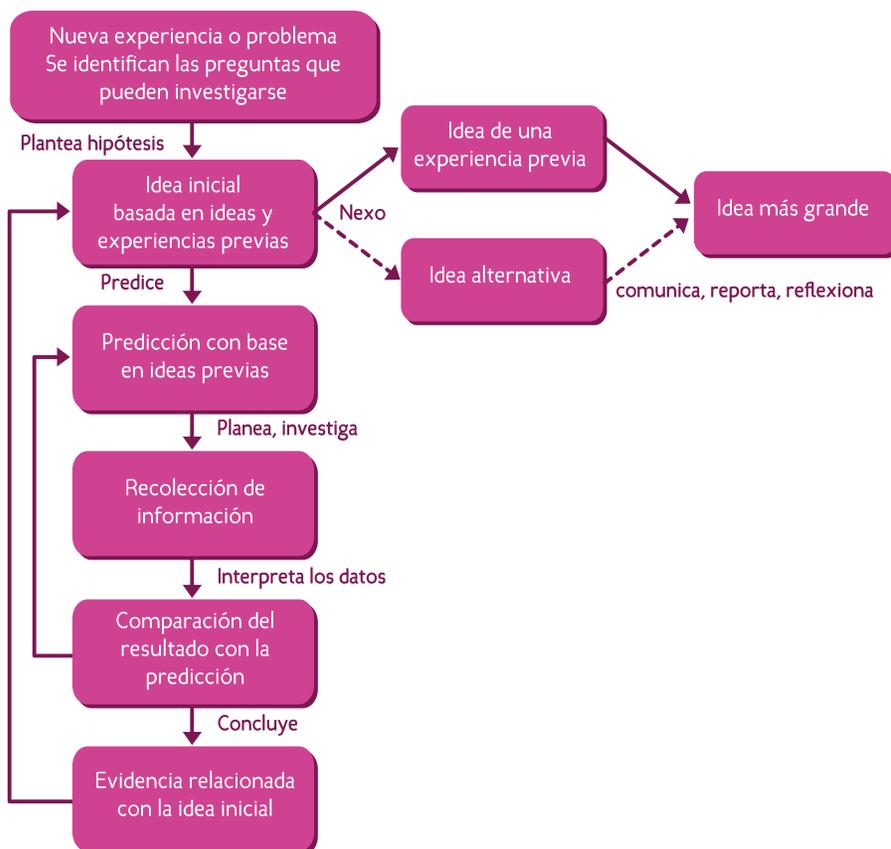


Figura 1. Un modelo de aprendizaje por medio de la indagación científica. (tomada de Harlen, 2015).

Repetir el ciclo conforme surgen nuevas preguntas suscitadas por la experiencia, amplía gradualmente las ideas emergentes, llevándolas a que apliquen a una gran cantidad de objetos y situaciones distintos. Por ejemplo, la investigación para saber si determinados objetos se hunden o flotan en el agua, proporciona información sobre dichos objetos en particular; para ser más útil, tal información debe relacionarse con otra y organizarse para formular principios y conceptos más amplios, como la idea de flotación que aplica a todos los objetos y todos los fluidos. Sin embargo, los principios y los conceptos no pueden transmitirse directamente a los estudiantes, salvo como frases sin sentido para ser aprendidas de memoria; deben construirse gradualmente a través del razonamiento de los estudiantes.

Las flechas de la Figura 1 indican las acciones necesarias para pasar de un cuadro al siguiente. Los resultados de la indagación dependerán de cómo se realicen estas acciones; es decir, de lo bien que hagan los estudiantes su predicción, planifiquen la investigación para comprobarla, interpreten los datos y saquen conclusiones. Desarrollar ideas científicas depende de que la colección e interpretación de datos se realicen con rigor científico. De otro modo podrían terminar aceptándose las ideas que debieron rechazarse, o podrían persistir las ideas no científicas de los estudiantes. Por ende, parte crucial de la pedagogía

necesaria para desarrollar la comprensión consiste en ayudar a los estudiantes a desarrollar las habilidades necesarias para la investigación científica. La mejor forma de hacerlo radica en el contexto de indagaciones que conducen a conocer el mundo que nos rodea, en donde puedan apreciarse las razones para seguir ciertas acciones.

Entonces el valor de la indagación va más allá de encontrar la respuesta a una pregunta particular. Contribuye a alcanzar otros resultados a nivel educativo, como los siguientes:

- entender las grandes ideas que aplican más allá del acontecimiento o fenómeno que se esté estudiando.
- desarrollar habilidades/capacidades científicas relacionadas con recopilar, interpretar y utilizar evidencia.
- desarrollar habilidades y una disposición que mejoren experiencias futuras de aprendizaje, así como la confianza para formular preguntas y buscar sus respuestas, aprender en colaboración con otros y estar abiertos a ideas nuevas.

DEFINIR LA INDAGACIÓN EN LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA

Una característica clave del modelo es la combinación del desarrollo de ideas con el uso y el desarrollo de habilidades (también conocidas como procesos o prácticas). Tal combinación se refleja en varias definiciones de enseñanza de la ciencia basada en la indagación. Una descripción muy citada apareció en los Estándares Nacionales para la Enseñanza de la Ciencia (*National Science Education Standards, NSES*), publicados en 1996 por el Consejo Nacional de Investigación de Estados Unidos de América (*US National Research Council, NRC*). Se refiere tanto a las maneras en que los científicos estudian el mundo natural, como a las actividades que realizan los estudiantes para desarrollar su conocimiento y su comprensión acerca de las ideas científicas. Dichas actividades son: formular preguntas; estudiar libros y otras fuentes de información para averiguar lo que se sabe sobre el tema; planear investigaciones (*NRC, 1996, p 23*). Sin embargo, en la publicación más reciente Marco de Trabajo para la Enseñanza de la Ciencia en Educación Básica (*Framework for K-12 Science Education*), el *NRC* utiliza menos el término “indagación”, para evitar sus múltiples interpretaciones, algunas de ellas erróneas. En cambio, la acción de involucrarse en la investigación científica se describe en términos de “prácticas”, con el fin de “enfatar que involucrarse en la indagación científica requiere coordinar simultáneamente conocimientos y habilidades” (*NRC, 2012, p 41*).

Como resultado de varios proyectos piloto que tuvieron lugar durante la década pasada, el Programa de Educación en Ciencias del *IAP* formuló la siguiente definición de educación científica basada en la indagación:

La enseñanza de la ciencia basada en la indagación significa que los estudiantes desarrollan progresivamente ideas científicas clave a través de aprender cómo investigar y así construyen tanto su conocimiento como su comprensión del mundo que los rodea. Utilizan habilidades empleadas por los científicos, como formular preguntas, recopilar datos, razonar y revisar las evidencias obtenidas a la luz de lo que ya se conoce, sacar conclusiones y discutir los resultados. Este proceso de aprendizaje se fundamenta en una pedagogía basada en la indagación, donde pedagogía no sólo significa el acto de enseñar sino también los fundamentos que lo sustentan (*IAP*, 2012).

Aquí la frase “utilizan habilidades empleadas por los científicos” significa, además de las habilidades mencionadas, ser riguroso y honesto al recolectar y utilizar una cantidad suficiente de datos relevantes, para poner a prueba hipótesis o responder las preguntas en cuestión. Los científicos validan y repiten los datos obtenidos cuando les es posible e interpretan y tratan de explicar sus resultados. Llevan un registro detallado en toda su investigación, para sacar conclusiones consultan trabajos previos relacionados, comparten sus ideas, ya sea por escrito o presentando sus resultados en congresos. Además, en el caso de los científicos profesionales (aunque también debe aplicarse a la indagación científica en la escuela), quienes están involucrados en la indagación desconocen la solución a la pregunta o al problema que se está estudiando. Les parece importante investigar eso y les emociona tratar de encontrar una respuesta o solución.

ALGUNAS IDEAS ERRÓNEAS SOBRE LA INDAGACIÓN

La popularidad de la enseñanza y el aprendizaje basado en la indagación, ha generado interpretaciones del concepto que no están justificadas. Algunas surgen de una simplificación excesiva, otras de equiparar erróneamente la indagación con prácticas existentes, otras sencillamente derivadas de una mala interpretación. Es importante reconocer y hacer explícitas dichas interpretaciones erróneas, para contrarrestarlas y tratar de evitar que la indagación se convierta en un concepto difuso que cualquiera puede aplicar a cualquier tipo de práctica.

Un error común es equiparar la indagación en ciencia y matemáticas simplemente con “actividades prácticas” o “trabajo práctico”. Dicha visión es demasiado limitada, pues una característica clave de la indagación es el uso

de evidencia y ésta puede encontrarse de muchas maneras, además de la acción directa sobre objetos físicos. Por ejemplo, puede proceder de fuentes secundarias de información, de los medios de comunicación, del profesor, de otros estudiantes o de Internet. Otra visión equivocada es creer que la indagación significa que los estudiantes deben “descubrir” todo por sí mismos, y que no deben obtener información del profesor ni de otras fuentes. Algunas interpretaciones de la enseñanza de la ciencia basada en la indagación consideran que sólo implica desarrollar las habilidades (procesos) de la indagación científica. Relacionada con esta visión, está la creencia de que la indagación funciona principalmente en la enseñanza de la ciencia a niveles básico y medio; de hecho, ha resultado mucho más difícil introducir actividades basadas en la indagación en la educación en ciencias a nivel medio superior, pero eso no significa que no sea aplicable en dicho nivel.

También es importante no suponer que el cambio de una pedagogía expositiva a una basada en la indagación, por sí solo, mejorará el interés y las actitudes de los estudiantes respecto a la ciencia. Hay una gran cantidad de factores, tanto dentro como fuera de la escuela, que influyen en los intereses y la disposición de los estudiantes. El enfoque de enseñanza y aprendizaje que experimenten es uno de esos factores y, dado que es el único que podemos modificar, bien vale el esfuerzo hacerlo, en vista de sus beneficios para la comprensión científica de los estudiantes.

IMPLICACIONES DE IMPLEMENTAR ECBI

Al introducir cualquier cambio en la pedagogía que se aplica, es importante identificar las consecuencias para la evaluación y para el contenido del currículo. Por ejemplo, no tiene sentido abogar por el uso de la indagación en la enseñanza y el aprendizaje si el currículo está sobrecargado o si hay un sistema de evaluación que favorezca la memorización. Por lo tanto, pasar de una pedagogía expositiva a una basada en la indagación requiere ciertos cambios en la estructura del currículo y en la forma de aplicar la evaluación.

Implicaciones para el contenido y la estructura del currículo

En relación con el contenido del currículo, desde hace tiempo se reconoce que el currículo de ciencias está sobrecargado con contenido que consiste principalmente en hechos y teorías que deben memorizarse. Numerosos reportes procedentes de países en todas las regiones del mundo muestran que la mayoría de los estudiantes considera que la ciencia aprendida en la escuela no es interesante ni relevante para ellos; perciben la ciencia como una serie de hechos aislados que deben aprenderse para aprobar los exámenes. Dado que implementar la indagación de manera efectiva toma un tiempo considerable,

un currículo demasiado lleno no permite que se desarrolle la comprensión a través de las actividades que involucra. Si hemos de utilizar la indagación, necesitamos encontrar una manera de utilizar mejor el valioso y limitado tiempo de aprendizaje.

Parte de la solución (aunque no la panacea) es no concebir los objetivos de la educación científica en términos del conocimiento de ciertos hechos y teorías, sino como una progresión hacia ideas clave, descritas como “grandes” ideas porque explican una amplia gama de fenómenos relacionados. Un ejemplo de lo que esto significa en la práctica fue desarrollado por un pequeño grupo internacional de científicos, ingenieros y educadores de la ciencia, quienes produjeron *Trabajando con las Grandes Ideas de la Educación en Ciencias* (Harlen, 2015). La publicación está disponible en varios idiomas de manera gratuita en la página web de IAP.

Las grandes ideas fueron seleccionadas de acuerdo con los siguientes criterios:

- poder explicar una gran cantidad de objetos, sucesos y fenómenos con los que se encuentran los estudiantes en sus vidas durante y después de sus años escolares.
- proporcionar una base para comprender temas, tales como el uso de la energía, que tienen que ver con la toma de decisiones que afectan el ambiente, así como la salud y el bienestar del estudiante y de otros.
- conducir al gozo y satisfacción de poder responder o encontrar respuestas a las preguntas que se hacen las personas acerca de sí mismas y del mundo natural.
- tener un significado cultural, por ejemplo, en cómo se visualiza la condición humana, al reflejar los logros en la historia de la ciencia, la motivación del estudio de la naturaleza y los impactos de la actividad humana sobre el medio ambiente.

A esto podríamos añadir que las ideas clave deben concordar con los Objetivos de Desarrollo Sustentable de las Naciones Unidas (*United Nation Sustainable Development Goals, SDGs*, por sus siglas en inglés), operativas de 2016 a 2030, en particular con aquellas relevantes para la educación científica (“Asegurar educación de calidad inclusiva y equitativa, y proporcionar a todos oportunidades de aprendizaje relevante para sus vidas” y “Alcanzar la igualdad de género y alentar a todas las mujeres y niñas”).

El resultado de las discusiones que se reportan en Harlen 2015 fue concordar en las siguientes diez ideas *de* la ciencia y cuatro ideas *acerca de* la ciencia.

Ideas *de* la ciencia:

1. Toda la materia en el Universo está compuesta por partículas muy pequeñas.
2. Los objetos pueden afectar a otros objetos a distancia.
3. El cambio de movimiento de un objeto requiere que una fuerza neta actúe sobre él.
4. La cantidad total de energía en el Universo siempre es la misma pero durante un suceso puede transferirse de un depósito de energía a otro.
5. La composición de la Tierra y de la atmósfera y los fenómenos que ocurren en ellas le dan forma a la superficie terrestre y determinan el clima del planeta.
6. Nuestro Sistema Solar constituye una pequeña parte de una entre miles de millones de galaxias en el Universo.
7. Los organismos están constituidos por células y tienen una vida finita.
8. Los organismos necesitan un suministro de energía y de materiales de los cuales con frecuencia dependen y por los que compiten con otros organismos.
9. La información genética se transmite de una generación de organismos a otra.
10. La diversidad de organismos, tanto vivos como extintos, proviene de la evolución.

Ideas *acerca de* la ciencia:

11. La ciencia busca encontrar la causa o las causas de los fenómenos en el mundo natural.
12. Las explicaciones, teorías y modelos científicos son aquellos que mejor dan cuenta de las evidencias disponibles en un momento dado.
13. El conocimiento producido por la ciencia se utiliza en ingeniería y tecnologías para crear productos que sirven a propósitos humanos.
14. Las aplicaciones de la ciencia tienen con frecuencia implicaciones éticas, sociales, económicas y políticas.

El desarrollo de estas ideas es un proceso gradual y progresivo, que tiene lugar durante todos los años de enseñanza escolarizada y aún después de ese periodo. Empieza con ideas “pequeñas” que resultan de estudiar fenómenos particulares y, mediante el proceso de indagación que se muestra en la Figura 1, y poco a poco conduce a ideas “más grandes” que aplican a varios fenómenos. Conforme los estudiantes, para explicar un fenómeno, utilizan ideas que surgieron al observar otro fenómeno, sus ideas se vuelven más amplias y por lo tanto más útiles, pues pueden funcionar en contextos muy diversos. El hecho de que las ideas dependan menos del contexto, necesariamente las vuelve más abstractas y accesibles para los estudiantes, sobre todo después de que desarrollen su habilidad para manejar modelos y teorías.

Para cada estudiante, hay una progresión desde las ideas iniciales formadas a partir de sus experiencias tempranas, hasta ideas más poderosas que explican una gama más amplia de fenómenos relacionados. Se ha investigado mucho acerca de las ideas propias de los estudiantes, y los resultados muestran que, cuando empiezan a ir a la escuela, tienen ideas acerca de muchos aspectos del mundo que generalmente no corresponden con la comprensión científica. El camino hacia ideas más científicas suele ser distinto para cada individuo, pues depende de sus experiencias y de la manera en que se les ayude a darles sentido. Es importante incorporar una descripción de la progresión, es decir, la forma en que las ideas se vuelven “grandes” con el tiempo, tanto en el desarrollo del currículo como en los procesos de evaluación utilizados para apoyar y valorar el aprendizaje. Sin embargo, lo más importante es que los docentes establezcan una relación entre las experiencias de aprendizaje en diversos momentos del proceso escolarizado, por un lado, y el objetivo general de comprender las grandes ideas, por el otro. En Harlen, 2015 (publicación disponible en los sitios web del IAP y de INNOVEC) pueden encontrarse para cada una de las 14 ideas, descripciones de la manera en que las ideas “pequeñas” se hacen “grandes”, expresadas a manera de narrativa o relato y con ciertas indicaciones respecto a lo que resulta apropiado para distintas edades.

Implicaciones para la evaluación

No cabe duda que la forma en que concebimos la evaluación, así como la forma en que evaluamos, tienen una influencia fuerte en lo que se enseña. Es importante actuar para evitar el uso de los procedimientos tradicionales de evaluación, que restringen la difusión de la enseñanza basada en la indagación. Aquí se consideran brevemente dos usos importantes de la evaluación: ayudar al aprendizaje (evaluación formativa); resumir y reportar lo que se ha aprendido (evaluación sumativa).

La evaluación implica la generación, recopilación, interpretación y comunicación de evidencia acerca del aprendizaje. Dicha evidencia puede obtenerse de maneras muy diversas, desde la observación del comportamiento de los estudiantes hasta la aplicación de exámenes. Lo importante es que tal evidencia se relacione con la comprensión, las habilidades y las competencias que sean los objetivos del aprendizaje. Esto significa un reto enorme para la evaluación sumativa en el contexto de ECBI, pues los métodos existentes con frecuencia incluyen sólo aspectos del aprendizaje que pueden observarse con facilidad. Hay una necesidad urgente de desarrollar herramientas y prácticas que sean consistentes con los objetivos de la indagación. Puede encontrarse más información acerca de métodos de evaluación sumativa en Evaluación y Educación en Ciencias Basada en la Indagación: Aspectos de la Política y la Práctica (*Assessment and*

Inquiry-Based Science Education: Issues in Policy and Practice; Harlen, 2013), publicado por IAP.

La evaluación formativa implica que el profesor y los estudiantes utilicen la evidencia disponible sobre el aprendizaje para decidir cuáles serán los siguientes pasos en el proceso de aprendizaje y la manera de darlos. Dichos pasos son los que aproximan al estudiante a los objetivos de la lección o del tema. Una parte importante de la evaluación formativa es que los docentes compartan dichos objetivos con los estudiantes, para que éstos entiendan el propósito de su trabajo en términos de lo que puedan aprender realizándolo. Para mayor información sobre el significado, el propósito y los procedimientos de la evaluación formativa, véase *La Enseñanza de la Ciencia en la Educación Básica, Antología sobre Indagación* (INNOVEC, 2015).

Puede apreciarse la importancia de la evaluación formativa si consideramos lo que se mencionó previamente respecto al desarrollo de la comprensión mediante la interacción social entre estudiantes. Se hizo notar que las experiencias de los estudiantes al desarrollar sus ideas en colaboración con otros, eran consistentes con el aprendizaje mediante la indagación. Si consideramos lo que debe hacer el profesor para facilitar este tipo de aprendizaje, podemos concluir que involucra lo siguiente:

- Hacer preguntas a los estudiantes para que expresen sus ideas.
- Alentar la colaboración y el trabajo en equipo.
- Proporcionar objetivos claros y hacérselos saber a los estudiantes.
- Proveer retroalimentación formativa.
- Utilizar información sobre el proceso de aprendizaje que está teniendo lugar para adaptar su método de enseñanza.
- Ayudar a los estudiantes a evaluar su propio progreso.
- Dar tiempo suficiente para que reflexionen acerca de su aprendizaje.

Esta lista se traslapa ampliamente con las acciones de los docentes cuando realizan una evaluación formativa, lo que muestra que este tipo de evaluación desempeña un papel importante en la enseñanza basada en la indagación. A esto puede añadirse que hay evidencia significativa que indica que la evaluación formativa facilita mejorías sustanciales en el aprendizaje de muy diversas materias (Leahy y William, 2012). Por lo tanto, para impulsar la implementación de ECBI deben desarrollarse las habilidades de los docentes en la evaluación formativa.

CONCLUSIÓN

La importancia de la enseñanza y el aprendizaje basados en la indagación puede verse en la evidencia empírica de que mejora el aprovechamiento de los estudiantes, así como en argumentos teóricos que indican que facilita el aprendizaje y la comprensión. La enseñanza de la ciencia basada en la indagación tiene el potencial de contrarrestar la falta de interés en la ciencia que se aprecia principalmente cuando los estudiantes pasan a secundaria. La investigación muestra que la mayoría de los niños desarrollan intereses y actitudes hacia la ciencia antes de cumplir 14 años, y muchos lo hacen antes de cumplir 11. Esto agrega importancia al desarrollo de una pedagogía de la ciencia basada en la indagación durante la educación básica, así como de ayudar a los profesores de primaria para que desarrollen confianza para enseñar ciencia. Sin embargo, la enseñanza de la ciencia basada en la indagación no debe restringirse a la educación básica. Desempeña un papel clave para desarrollar la comprensión conceptual de la ciencia en estudiantes de educación media superior, así como la comprensión de la naturaleza del conocimiento científico y de la forma en que se crea, en un momento en que los estudiantes están tomando decisiones respecto a sus estudios futuros.

Sin embargo, implementar ECBI tiene implicaciones para la cantidad de contenido que puede cubrirse y para la forma de evaluar el aprovechamiento de los estudiantes. En lo que respecta al contenido del currículo, ya se hizo notar el beneficio de identificar una cantidad relativamente pequeña de ideas poderosas que ayuden a los estudiantes a alcanzar una comprensión amplia de los aspectos científicos del mundo que los rodea. Acerca de la evaluación, se encuentra que la evaluación formativa implica acciones muy similares a las que se toman para ayudar a los estudiantes a desarrollar su comprensión a través de la indagación. Esto apunta a que es muy importante desarrollar las habilidades de los docentes en la evaluación formativa para poder implementar ECBI.

REFERENCIAS

IAP (2012) *Taking Inquiry-Based Science Education into Secondary Education. Report of a global conference*. <http://www.sazu.si/files/file-147.pdf>

Harlen, W. (2015) *Working with Big Ideas of Science Education*. Trieste: IAP SEP. Disponible de manera gratuita en inglés en <http://www.interacademies.net/File.aspx?id=26736> y en español en <http://interacademies.net/File.aspx?id=28260>. Consultado en 22/09/16.

Harlen, W. (2013) *Assessment and Inquiry-Based Science Education: Issues in Policy and Practice*. Trieste: IAP. Disponible de manera gratuita en <http://www.interacademies.net/File.aspx?id=21245> Consultado en 22/09/16.

James, M. (2012) Assessment in harmony with our understanding of learning: problems and possibilities, en (ed) J. Gardner *Assessment and Learning*, 2a edición. London: Sage, pp 187 – 205.

Leahy, S. y Wiliam, D. (2012) From teachers to schools: scaling up professional development for formative assessment. En (ed) J. Gardner *Assessment and Learning*. London: Sage, pp 29-71.

National Research Council (2012). *A Framework for K-12 Science Education*. Washington DC: The National Academies Press, p 41.

National Research Council (1996) *National Science Education Standards*. Washington DC: National Academy Press, p 23.

United Nations Sustainable Development Goals (2016) www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals Consultado en 2/9/16.

Watkins, C. (2003) *Learning: A Sense-maker's Guide*. London: Association of Teachers and Lecturers.

BRUCE ALBERTS

Es Bioquímico, comprometido con la mejora de la educación científica y matemática. Obtuvo su Doctorado en la Universidad de Harvard. Fue Presidente de la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos de América durante 12 años (1993-2005).

Es uno de los autores del libro *Biología molecular de la célula*, un libro de texto preeminente en su campo. Su trabajo en biología molecular y bioquímica le ha hecho acreedor a 16 grados honorarios y ser miembro de los consejos asesores de más de 25 instituciones.



ALGUNAS IDEAS DE UN CIENTÍFICO ACERCA DE LA INDAGACIÓN¹

.....

¿Qué queremos decir cuando enfatizamos que una gran parte de la enseñanza de la ciencia debe llevarse a cabo a través de la indagación?

Es fácil reconocer otro tipo de enseñanza de la ciencia, mucho más común, donde el profesor proporciona al estudiante una cantidad enorme de datos científicos, además de los términos especializados necesarios para describir esos datos. En el peor de los casos, un docente que siga tal método asume que la educación consiste en llenar la cabeza del estudiante de asociaciones entre términos, por ejemplo, asociar mitocondria con “fuente de poder de la célula”, ADN con “material genético” o movimiento con “energía cinética”. Esto sugiere que la preparación para la vida es prácticamente igual a prepararse para contestar preguntas en un concurso de televisión o una trivía.

Si la educación se trata únicamente de impartir información, la ciencia, la historia y la literatura se convertirían en un acervo de información que habría que memorizar y sería difícil distinguir entre ellas. Sin embargo, el interés de la mayoría de los estudiantes no está en dedicarse a contestar las preguntas de un concurso de televisión. Al no encontrar la utilidad de este tipo de información científica para su vida, generalmente no están motivados para este tipo de

¹Artículo adaptado de la versión original:
Alberts, B. *Some Thoughts of a Scientist on Inquiry*. En J. Minstrell y Emily H. van Zee, eds. *Inquiring into Inquiry Learning and Teaching in Science* pp 3-13. AAAS, Washington, DC. American Association for the Advancement of Science (2000).

“aprendizaje escolar”. Desde mi punto de vista, lo que es aún más importante, es perder la gran oportunidad de aprovechar la enseñanza de la ciencia para que los estudiantes desarrollen sus habilidades de resolución de problemas, comunicación y razonamiento en general, que necesitarán para ser ciudadanos del siglo XXI y trabajar de manera efectiva.

ALGUNOS EJEMPLOS DE INDAGACIÓN

Cuando pienso en los aspectos de mi educación básica que resultaron significativos para mí, constato que todos requirieron de mi propia iniciativa y esfuerzo para lograr una verdadera comprensión: escribir un reporte extenso sobre “la problemática de las granjas” en primero de secundaria, donde tuve que explicar por qué el gobierno les pagaba a los granjeros por no sembrar ni cosechar; exponer detalladamente a mis compañeros de segundo de secundaria la manera en que funciona una televisión; en tercero de secundaria, estudiar los libros de espectroscopía que había en la biblioteca pública de Chicago para preparar un reporte sobre sus usos en química.

A lo que me refiero con enseñar ciencia a través de la indagación es, al menos, permitir que los estudiantes conceptualicen un problema que haya sido resuelto mediante un descubrimiento científico, y después pedirles que busquen soluciones posibles a dicho problema, sin comunicarles la solución. Tomaré un ejemplo de mi campo de estudio, la biología celular: la membrana que envuelve a una célula debe tener la propiedad de permeabilidad selectiva, es decir, debe dejar entrar nutrientes como el azúcar y debe dejar salir desechos como el dióxido de carbono, manteniendo las moléculas grandes que conforman la célula siempre en el interior. ¿De qué tipo de material podría estar hecha tal membrana, para presentar las propiedades mencionadas y ser capaz de expandirse conforme crece la célula, sin dejar escapar sus moléculas esenciales? Sólo después de tratar de resolver el problema por sí mismos, los estudiantes podrán experimentar el placer que resulta de explicar e ilustrar el mecanismo natural que permite a la célula crecer y a la vez contener sus elementos. Los resultados de la investigación con seguimiento a largo plazo, de lo que ocurre en el salón de clases, muestran que con este tipo de enseñanza hay una probabilidad mayor de que los estudiantes retengan la información y la incorporen de manera permanente a su visión del mundo (por ejemplo, ver G. Nuthall y A. Alton-Lee, 1995).

Pero hay mucho más. Además de conocimientos científicos, queremos que los estudiantes adquieran algunas habilidades de razonamiento y procedimiento, propias de los científicos, así como una comprensión clara de la naturaleza de la ciencia como una forma particular de explorar el mundo. Para algunos

aspectos del conocimiento científico, que son más accesibles que el estudio directo de la membrana celular, queremos que los estudiantes no sólo traten de encontrar soluciones a problemas, sino que propongan y lleven a cabo experimentos sencillos para poner a prueba algunas de sus ideas. Una de las habilidades que queremos que todos los estudiantes adquieran mediante la educación en ciencias, es la capacidad de explorar el mundo natural de manera efectiva modificando una variable a la vez, manteniendo sin cambio el resto de los factores. Este método, no sólo es utilizado por los científicos para descubrir qué propiedades de nuestro entorno dependen de otros factores, sino que representa una estrategia general muy poderosa para resolver muchos de los problemas con los que nos enfrentamos a nivel laboral y en la vida cotidiana.

Como ejemplo, un conjunto de lecciones para quinto de primaria desarrolladas por *Lawrence Hall of Science* tiene como objetivo proporcionar a los estudiantes diversas experiencias para manipular sistemas de variables. En este caso, el conjunto de lecciones a desarrollar en ocho semanas, consta de los materiales de trabajo y de una guía para el profesor con las instrucciones de enseñanza y uso del material (1993). Al principio, los estudiantes trabajan en equipos de cuatro integrantes para construir un péndulo utilizando cordón, cinta adhesiva y rondanas. Después, cada equipo cuenta el número de oscilaciones de su péndulo en 15 segundos. Como los resultados para distintos péndulos serán diferentes, se guía al grupo para que proponga experimentos nuevos y, finalmente, encuentre que la cantidad de oscilaciones depende de la longitud del cordón. Presentar los diferentes péndulos en un muro del aula, indicando la cantidad de oscilaciones de cada uno en 15 segundos, permite ver claramente la relación lineal entre la longitud del cordón y la cantidad de oscilaciones, de esta manera cada equipo podrá construir un péndulo con determinadas características y predecir el número de oscilaciones que realizará en 15 segundos. Esto conduce, a su vez, a elaborar gráficas como un recurso eficiente para registrar datos que serán de utilidad para futuras construcciones de péndulos. El docente puede aprovechar también esta lección en específico, la cual tiene una duración de dos semanas, para relatar a los estudiantes la historia de la medición precisa del tiempo, enfatizando los muchos cambios a nivel social derivados de poder dividir el día en intervalos precisos de tiempo, gracias a la invención de los relojes de péndulo (Boorstin, 1985).

Comparemos esta lección de ciencias con una forma de enseñanza más tradicional: el profesor es quien habla y muestra diversos péndulos, enfatizando las diferencias en la frecuencia de oscilación; y los estudiantes demuestran su conocimiento sobre las variables como longitud, peso y ángulo inicial, que afectan la frecuencia de oscilación, completando información en las hojas de

trabajo que presentan espacios en blanco para su llenado. Es muy probable que, un año después, los estudiantes no recuerden nada acerca de péndulos. Tampoco habrán desarrollado las habilidades generales que son la meta principal de los experimentos y las actividades prácticas: comprender las implicaciones de modificar una variable a la vez; desarrollar la capacidad de generar gráficas para registrar y reutilizar información; descubrir que es posible llevar a cabo experimentos interesantes con materiales cotidianos y fáciles de conseguir.

LA IMPORTANCIA DE LA MOTIVACIÓN

¿Por qué podemos estar fascinados observando un evento deportivo en vivo, sentados en el borde del asiento conforme aumenta la tensión cuando se cierra la diferencia entre los competidores? ¿Y por qué nos resulta tan poco interesante ver la repetición del mismo evento, cuando ya se sabe el resultado? Mi conclusión es que a los seres humanos nos gusta confrontar lo desconocido. Otro tipo de juegos demuestran que también nos gustan los problemas o acertijos que signifiquen un reto. Resolver un acertijo es parecido a hacer una apuesta: se siguen caminos particulares, determinados por nuestro libre albedrío. Si está estructurada apropiadamente, la indagación en la educación motiva a los estudiantes por las mismas razones: los confronta con un acertijo que representa un reto y que puede resolverse mediante un proceso que involucra tomar riesgos.

Con esta conjetura explico que prácticamente todos los científicos que conozco recuerdan haberse aburrido en los laboratorios típicos de la universidad, en los cursos de biología, química y física, donde realizar actividades experimentales era similar a seguir una receta. Mi propia experiencia es semejante. Después de dos años preparándome para medicina, me resultó imposible seguir soportando esos laboratorios. Entonces abandoné el laboratorio del curso de físicoquímica que estudiaba en Harvard y aproveché la oportunidad de pasar las tardes en el laboratorio de investigación de mi asesor. La experiencia ahí fue tan distinta que pronto perdí el interés por entrar a la escuela de medicina. Un año después, había decidido hacer un posgrado en biofísica y bioquímica, como preparación para desempeñarme como científico.

Se han realizado amplios estudios sobre la motivación y los sistemas de valores de los estudiantes en las escuelas estadounidenses. Uno de ellos se extendió por un lapso de 10 años e involucró a 20,000 estadounidenses de clase media, de 6° de primaria a 1° de bachillerato. Los resultados, además de aparecer en revistas de investigación, se pusieron a disposición del público en general a través de la publicación de un libro (Steinberg et al., 1997). Dichos resultados son extremadamente preocupantes para quienes, como yo, creen que el futuro de esta nación depende principalmente de la calidad de la educación que reciben

niños y jóvenes. El 40% de los alumnos estudiados fueron calificados como “no involucrados” con el aprendizaje. Asistían regularmente a la escuela pero no creían que su aprendizaje escolar fuera relevante o importante en ningún sentido. Sólo el 15% de los estudiantes dijeron que sus amigos los verían con mejores ojos si tenían éxito académicamente.

¿Quién es el culpable de esta situación? Algo de responsabilidad recaerá en los padres de familia que prestan poca atención a lo que sus hijos adolescentes hacen en la escuela. Sin embargo, como padre de familia en su momento aterrorizado, por la influencia arrolladora que ejercían sobre los valores de mis hijos las actitudes de sus compañeros, puedo afirmar que el asunto es mucho más complejo. ¿Qué se les enseña a nuestros hijos entre 6° de primaria y 1° de bachillerato? ¿Nosotros mismos encontraríamos el currículo interesante y motivante? Como científico que ha examinado lo que se enseña en ciencias a ese nivel, ¡afirmo que, en la mayoría de las escuelas, la respuesta es un rotundo no! El currículo suele girar en torno a libros de texto saturados de vocabulario aburrido, que es imposible entender en ningún sentido real de la palabra. Es claro que la mayoría de esos libros fueron escritos por gente que no entiende el tema a profundidad, o que son obligados por sus editores a evitar que el texto sea interesante para estudiar o leer. Dada esta situación, ¿debe sorprendernos que la escuela se haya convertido en una institución donde los valores de los propios compañeros desalientan el desempeño académico?

UN GRAN RETO PARA NUESTRAS ESCUELAS

La indagación es, por una parte, una forma de razonamiento, y por otra parte, una habilidad que debe aprenderse mediante la experiencia. El estado mental es la curiosidad, que motiva las preguntas “¿por qué?” y “¿cómo?”. La buena noticia es que los niños pequeños son curiosos por naturaleza. Sin embargo, si el incesante “¿por qué?” es continuamente descartado por los adultos por parecerles tonto y carente de interés, y éstos responden con un “porque sí” o “no sé” de manera indiferente, los niños pueden perder el don de la curiosidad y convertirse en adultos pasivos que no cuestionen nada. Si uno visita un aula de 2° de primaria, generalmente encuentra un grupo lleno de energía y emoción, donde los alumnos están deseosos de hacer observaciones y de comprender los hechos a su alrededor. ¡Que contraste con los alumnos de 2° de secundaria, que generalmente parecen aburridos y no involucrados ni con el aprendizaje ni con la escuela!

El reto es crear un sistema educativo que explote la enorme curiosidad que los niños llevan a la escuela inicialmente, manteniendo su motivación por aprender, no sólo durante el periodo escolar sino a lo largo de toda su vida. Lo más importante es convencer a docentes y padres de familia de la importancia

de dar respuestas alentadoras y sustentadas a los múltiples “¿por qué?”, dando así valor a la curiosidad. Esto me recuerda el efecto profundo que tuvo el padre de Richard Feynmann en su desarrollo como científico. Según lo cuenta el mismo Feynmann (1998):

Un niño me dijo: “¿Ves ese pájaro? ¿Qué clase de pájaro es ese?”

Yo respondí: “No tengo la menor idea de qué tipo de pájaro es.”

El dijo: “Es un tordo de garganta parda. ¡Tu padre no te enseña nada!”

Pero era al revés. En realidad mi padre ya me había enseñado mucho.

Algún día me dijo: “¿Ves ese pájaro?, es un parúlido de Spencer”.

Yo sabía que él desconocía su verdadero nombre.

Y continuó: “Bueno, en italiano se le llama *chutto lapittida*, en chino es *chung-long-tah* y en japonés es *katano tekeda*. Puedes conocer el nombre de ese pájaro en todos los idiomas del mundo, pero cuando termines de recitarlos, seguirás sin saber nada acerca del pájaro. Únicamente sabrás cómo las personas llaman a ese pájaro en diferentes lugares del mundo. Para conocer sobre el pájaro, mejor observémoslo y veamos qué está *haciendo*: eso es lo importante”.

Desde entonces aprendí la diferencia entre saber el nombre de algo y conocer acerca de ese algo.

Me dijo: “Por ejemplo, observa: el pájaro acicala sus plumas todo el tiempo. ¿Ves cómo anda por ahí acicalándose las plumas?”

“Sí”.

Me preguntó: “¿Por qué crees que los pájaros se acicalen las plumas?”

Respondí: “Bueno, tal vez las plumas se desacomodan cuando vuelan y se las acicalan para acomodarlas otra vez”.

“Muy bien”, me dijo, “si así fuera, se acicalarían más justo después de volar. Tras estar parados un tiempo, dejarían de acicalarse tanto. ¿Comprendes lo que digo?”

“Sí”.

Entonces propuso: “Observémoslos para saber si se acicalan más justo después de aterrizar”.

No fue difícil: claramente no había mucha diferencia entre los pájaros que acababan de aterrizar y los que habían estado caminando alrededor un poco. Entonces dije: “Me rindo. ¿Por qué se acicalan las plumas los pájaros?”

“Porque les molestan los piojos”, respondió. “Los piojos comen trocitos de proteína que se desprenden de las plumas...”.

Finalmente concluyó: “Entonces resulta que siempre que hay una fuente de alimento, alguna forma de vida la aprovecha.”

Yo sabía bien que tal vez no se tratara exactamente de piojos... La explicación probablemente era incorrecta en *detalle*, pero lo que él me estaba diciendo era correcto en *principio*. pp 13-15.

Pocos niños tienen la suerte de tener un padre como el de Feynmann. Por lo tanto, en la escuela recae gran parte de la responsabilidad de alimentar la forma de razonamiento necesaria para convertirse en un adulto inquisitivo. Mantener la curiosidad inicial de los niños respecto al mundo, implica que adquieran confianza en el uso de métodos de indagación para encontrar respuestas a sus preguntas. Esta auto confianza sólo puede desarrollarse de una manera: con una secuencia de éxitos reales. No basta con alentar a los estudiantes a indagar. También deben brindárseles muchas oportunidades de adquirir las habilidades necesarias para tener éxito en tales experiencias.

Debemos buscar para nuestras escuelas un currículo que comience en preescolar y aumente paulatinamente su dificultad, para proporcionar retos adecuados para la edad de los estudiantes en todos los grados escolares. El currículo debe enfocarse en la indagación, tanto individual como grupal, más que en la memorización y la repetición de datos. En cada grado escolar, las indagaciones deben diseñarse con cuidado para que presenten retos a los estudiantes que al principio parezcan casi imposibles, pero que permitan que la mayoría termine alcanzando el éxito, cuando menos parcialmente. Queremos que los estudiantes puedan ver con claridad que a medida que adquieren las herramientas y los hábitos de la indagación, ellos pueden desenvolverse mejor en el mundo que los rodea. Entonces la escuela toma un papel relevante para los estudiantes: un lugar donde aprenden habilidades que son importantes para su vida *fuera* de la escuela.

UN GRAN RETO PARA LOS CIENTÍFICOS

En vez de limitarnos a culpar a otros por la situación actual de la educación en ciencias, nosotros los científicos debemos reconocer nuestros propios errores. ¿Por qué los científicos que recuerdan con tanto disgusto sus experiencias de laboratorio a nivel licenciatura, continúan haciendo que sus estudiantes realicen los mismos ejercicios de laboratorio, completamente predecibles similares a seguir una receta, que tanto les aburrían a ellos mismos cuando los llevaron a cabo? Me encuentro anonadado; no encuentro una buena respuesta. Sin embargo, estoy tratando de alentar a mis antiguos colegas universitarios para

que consideren cuidadosamente la pregunta y actúen de acuerdo con eso. Tal vez no se les ocurra ninguna alternativa. Si es el caso, deberían dedicar unas horas a examinar alguno de los maravillosos módulos científicos basados en la indagación que se han desarrollado para educación básica (por ejemplo, ver Ciencia y Tecnología para Niños (*Science and Technology for Children, STC*), un proyecto conjunto de la Academia Nacional de Ciencias (NAS, por sus siglas en inglés) y el actual Centro Smithsoniano para la Educación en Ciencias² (<https://www.ssec.si.edu>). No veo por qué no podrían desarrollarse módulos de laboratorio accesibles, disponibles a nivel comercial, a partir de esos maravillosos ejemplos para enseñanza básica. Un proyecto con tal objetivo podría facilitar una muy necesaria reconsideración de lo que deben ser los laboratorios de ciencias a nivel licenciatura y del propósito que deben cumplir.

Los científicos tenemos mucho que hacer respecto a la naturaleza de nuestros cursos introductorios de ciencia a nivel licenciatura. En un curso típico de Biología I a nivel licenciatura, me pregunto dónde está la indagación científica que se recomienda para las clases de ciencias en K-12 de acuerdo a los Estándares Nacionales para la Enseñanza de la Ciencia³ (*National Science Education Standards, NSES*) (*National Research Council, NRC, 1996*). Esos cursos generalmente pretenden cubrir todos los temas relevantes de biología en un año, una tarea cada vez más difícil dada la rapidez con que se genera nuevo conocimiento. Sin embargo, los hábitos más arraigados son los más difíciles de erradicar: la mayoría de los cursos de Biología I se imparten como una serie de clases atiborradas de datos. Esos cursos no dejan espacio para la indagación; ni siquiera brindan a los estudiantes una noción de lo que es la ciencia ni de la razón de que la ciencia, como forma de conocimiento, haya tenido tanto éxito para ayudarnos a entender el mundo natural y nuestra habilidad de manipularlo para el beneficio humano (para conocer más sobre los intentos por cambiar esta situación, ver *Science Teaching Reconsidered*, [NRC, 1997] y *Teaching Evolution and the Nature of Science* [NAS, 1998]).

CONVERTIRSE EN UN CIENTÍFICO

Muy pocos estudiantes terminarán convirtiéndose en científicos profesionales. Ése no es el propósito de las reformas actuales en educación científica. Sin

² Antes el Centro Nacional de Recursos Científicos del Instituto Smithsoniano.

³ En sustitución a los Estándares Nacionales de Educación en Ciencia de los Estados Unidos de América publicados en 1996 por el NRC, actualmente se cuenta con el “Marco de Trabajo para la Enseñanza de la Ciencia en Educación Básica”, publicado en 2012 por la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos de América.

embargo, tanto mi experiencia personal como mis muchas interacciones con estudiantes, me convencen de que los cambios propuestos para la educación en ciencias de Preescolar a Licenciatura a nivel nacional (en Estados Unidos de América) contribuirán a generar mejores científicos. Si enfatizamos la comprensión además del conocimiento, y utilizamos métodos de indagación para generar un razonamiento de tipo científico, los estudiantes no requerirán trabajar en un laboratorio de investigación para apreciar lo emocionante de una vida dedicada a la ciencia. Además, los estudiantes con muy buena memoria, que generalmente tienen un desempeño adecuado en las clases de ciencias actuales, no crecerán con la creencia errónea de que se requieren las mismas habilidades para ser un buen científico y para resolver un examen tradicional.

Si la gente joven con un potencial científico destacado nunca conoce la indagación científica y nunca se le da a conocer cómo funciona la ciencia, ¿cómo podría siquiera considerar la idea de seguir una carrera científica? Pero aquí nos enfrentamos con otro dilema. Debido a la forma en que se enseña ciencia a nivel licenciatura, la mayoría de los profesores de escuela, incluso los especializados en ciencias, jamás han realizado indagación científica. Entonces no debe sorprendernos que tantos docentes sean incapaces de impartir sus clases de acuerdo con las recomendaciones de los Parámetros en el Conocimiento Científico (*Benchmarks for Science Literacy*, AAAS, 1993) o de los Estándares Nacionales para la Enseñanza de la Ciencia (NRC, 1996), aún cuando se les proporcionen currículos muy buenos, con énfasis en las actividades prácticas.

Ante esta dificultad, hay quien sugiere que abandonemos metas educativas demasiado ambiciosas y nos conformemos con lo que los profesores pueden enseñar: la ciencia como un ejercicio de memorización, evaluado por exámenes de opción múltiple, que hacen énfasis en la retención de asociaciones entre términos. Pero estoy convencido de que no debemos aceptar una educación de segunda clase para nuestros niños...

Como presidente de la Academia Nacional de Ciencias (de Estados Unidos de América) durante los últimos seis años, he tratado de convencer a mis muchos colegas científicos de que deben dejar de ser parte del problema y convertirse en parte de la solución... Los científicos e ingenieros activos deben relacionarse estrechamente con los sistemas educativos locales, desde Preescolar hasta Educación Media Superior, como voluntarios que ayuden a los docentes y a los distritos escolares, brindando desarrollo profesional y como una fuerza política local estable que apoye una nueva forma de educación científica (ver <http://www.nas.edu/rise>).

Pero necesitamos algo más. La necesidad de contratar 2 millones de los 3.5 millones de profesores de escuela en la próxima década (*National Commission on Teaching and America's Future*, 1996), aunado a la jubilación inminente de una generación de docentes, requiere la entrada de una nueva generación de científicos talentosos en el cuerpo docente de nuestro sistema nacional K-12 (de Preescolar a Nivel Medio Superior). Idealmente, se convertirían en profesores con una comprensión profunda de la ciencia y de la indagación, así que formarían un puente natural entre la cultura científica y la cultura escolar.

...Yo veo la situación actual como una oportunidad maravillosa para que los científicos ayuden a fortalecer el sistema escolar. Con preparación y apoyo adecuados, dichos científicos pueden introducir la indagación en el aula de manera inmediata, y pueden ayudar a generar nuevas experiencias de desarrollo profesional para otros profesores que trabajen en las mismas escuelas. La Academia Nacional de Ciencias ha empezado a enfocarse en este asunto relevante, que a mí me parece de la mayor importancia para el futuro de la ciencia y para el futuro de nuestras escuelas.

REFERENCIAS

American Association for the Advancement of Science. 1993. *Benchmarks for science literacy*. New York: Oxford University Press.

Boorstin, D.J. 1985. *The discoverers*. New York: Random House.

Feynman, R.P. 1998. *The making of a scientist, What do you care what other people think?* New York: Bantam Books.

Lawrence Hall of Science. 1993. Variables. Módulo en *Full option science system*. Chicago: Encyclopedia Britannica Educational Corp.

National Commission on Teaching and America's Future. 1996. *What matters most: Teaching for America's future*. New York: Author.

National Academy of Sciences. 1998. *Teaching evolution and the nature of science*. Washington, DC: National Academy Press.

National Research Council. 1996. *National science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.

National Research Council. 1997. *Science teaching reconsidered*. Washington, DC: National Academy Press.

National Research Council. 1998. *Trends in the early careers of life scientists*. Washington, DC: National Academy Press.

Nuthall, G. y A. Alton-Lee. 1995. Assessing classroom learning: How students use their knowledge and experience to answer classroom achievement test questions in science and social studies. *American Educational Research Journal* 31: 185-223.

Steinberg, L., B. Brown, and S. Dornbusch. 1997. *Beyond the classroom*. Cambridge, MA: Touchstone Books.

RODGER BYBEE

Es director emérito del Estudio para el Currículo de las Ciencias Biológicas (BSCS), organización sin fines de lucro que desarrolla materiales curriculares, brinda desarrollo profesional para la comunidad de la educación científica y lleva a cabo investigación y evaluación en reformas curriculares. Pertenecer a diversos consejos y comités, como los de las Academias Nacionales, del Departamento de Educación de los Estados Unidos y de la Fundación Nacional de Ciencias (NSF). Ha publicado diversos libros y artículos en el campo de la educación y la psicología. Actualmente promueve la enseñanza de la ciencia basada en la indagación a través de la plataforma *Science Bits*.



ENSEÑANZA DE LA CIENCIA BASADA EN LA INDAGACIÓN

Rodger Bybee
Hector Ruiz Martin

La educación en ciencias ha tenido, históricamente, una serie de metas, entre las cuales está presentar a los estudiantes los conceptos y procesos fundamentales de esta disciplina. La integración de conceptos y procesos en la educación científica presenta un reto para los docentes. En este capítulo, hablaremos acerca de dicho reto.

Este capítulo ayuda a los docentes a enfrentar los retos de la enseñanza basada en la indagación mediante: (1) la presentación de lo que es la indagación científica, (2) la introducción de un modelo de enseñanza que se adapta a las metas de enseñanza de la ciencia a través de la indagación y (3) la descripción de material del currículo actual que está basado en el modelo de enseñanza y es apropiado para estudiantes de habla hispana.

INDAGACIÓN CIENTÍFICA

Para entender la indagación científica y su papel en la enseñanza de la ciencia, empezamos revisando por separado algunas ideas sobre ciencia y sobre indagación. Esta discusión prepara el escenario para plantear modelos de enseñanza y diseñar currículos de ciencias.

Ciencia

Los logros de la ciencia proporcionan explicaciones interesantes e importantes acerca del mundo natural. La ciencia no puede explicar todo, pero provee conocimiento confiable que nos ayuda a entender el mundo en que vivimos. El conocimiento científico es más que una acumulación de hechos e información;

proporciona ideas y conceptos con poder explicativo. Es decir, el conocimiento científico suele conllevar una comprensión de las relaciones de causa y efecto, así como el poder de predecir y controlar.

Aunque podemos confiar en el conocimiento científico, dicho conocimiento suele contraponerse a las ideas que tienen los estudiantes de la realidad a partir de su propia experiencia. Para los estudiantes, puede ser un reto entender que todas las sustancias están formadas por partículas muy pequeñas, que se mantienen unidas debido a la fuerza electromagnética; que los muchos materiales existentes en el mundo están formados por una cantidad muy pequeña de partículas distintas, y sus diferencias se deben a la forma en que dichas partículas estén acomodadas; que algunas enfermedades son producidas por microorganismos que no pueden percibirse a simple vista; que los rasgos hereditarios resultan de combinaciones en un código químico; que todas las especies proceden de un ancestro común; y que las enormes placas tectónicas que conforman la superficie terrestre se mueven en patrones en cierto modo predecibles.

Estas ideas científicas, así como muchas otras, se expresan en términos de la teoría atómica, los gérmenes como agentes de enfermedades, el genoma y el ADN, la evolución de los organismos vivos y la tectónica de placas. Este tipo de ideas centrales, junto con una gran cantidad de otros conceptos, conforman la disciplina que conocemos como ciencia. Los profesores de ciencias se enfrentan al doble reto de identificar qué ideas son las más importantes para que los estudiantes las aprendan, y de decidir la mejor manera de enseñar dichas ideas, dada la diferencia entre el conocimiento y la comprensión de los estudiantes acerca del mundo, y las explicaciones científicas respecto a esos mismos temas. En términos educativos, estos dos retos pueden resumirse como currículo y enseñanza: específicamente, el contenido del currículo, las estrategias, técnicas y enfoques de enseñanza para presentar dicho contenido. Pero, ¿qué hay de la indagación científica?

Indagación

La ciencia es más que un cuerpo de conocimientos. El concepto de ciencia como una forma de explicar el mundo abarca conocimientos y explicaciones, así como la idea adicional de que la ciencia tiene maneras particulares o métodos únicos que utilizan los científicos. De hecho, la ciencia es mucho más que un cuerpo de conocimientos: lo que conocemos y lo que queremos decir con el término conocimiento científico está en función de los procesos que utilizan los científicos para obtener dichos conocimientos. Específicamente, ¿cuáles son los elementos básicos de los procesos de indagación científica? De manera simplificada, la indagación científica utiliza procesos como observaciones e

investigaciones que resultan en evidencia empírica relacionada con el mundo natural. Siendo claro, no es la autoridad de algunos individuos, el dogma de las religiones, las doctrinas de los gobiernos ni el poder de la empresa privada lo que pesa en una explicación científica. Lo importante aquí es el poder de la evidencia empírica, el análisis crítico y la inferencia cuidadosa a partir de observaciones y experimentos: eso es lo que da validez a las explicaciones científicas. Se trata de la manera particular y única que tienen los científicos de explicar el mundo.

Hay una idea equivocada que prevalece en el público en general, aunque desafortunadamente también se presenta en muchos libros de texto y es compartida por algunos profesores, que la ciencia consiste en un método sistemático que sigue los siguientes pasos: primero, plantear un problema; segundo, formular una hipótesis; tercero, realizar un experimento; cuarto, analizar datos; finalmente, llegar a una conclusión. En muchas clases de ciencias se presenta el método científico como sistemático, preciso, riguroso e impersonal (Bauer, 1992).

Hay algunas observaciones que se contraponen al concepto erróneo de “un” método científico. En el núcleo de la indagación científica podemos encontrar observación, hipótesis, inferencia, experimentación y retroalimentación. Todos estos procesos tienen como objeto obtener y utilizar evidencia empírica para ayudar a responder una pregunta científica. El científico empieza con una pregunta interesante que surge de datos anómalos, inconsistencias en una explicación existente o cierta comprensión profunda a partir de observaciones. Después de explorar un poco, el científico formula una hipótesis a partir de la cual pueden inferirse predicciones. Se diseñan experimentos para saber si la hipótesis es válida. Si estas pruebas confirman la hipótesis, los resultados suelen ser publicados, lo que retroalimenta a otros miembros de la comunidad científica. Es importante publicar los resultados independientemente de si la hipótesis fue confirmada o refutada. Ambos tipos de retroalimentación son importantes en la ciencia. Si los resultados no confirman la hipótesis, ésta puede modificarse, otra nueva puede proponerse o bien los científicos pueden apegarse a la idea original e intentar otra investigación. Aunque el proceso real no es tan claro como se presentó en este párrafo, este resumen provee de nuevos enfoques o ideas para la práctica docente y para la integración de la indagación en la enseñanza científica y en el currículo de ciencias.

La actividad de la indagación científica no es tan ordenada como el mencionado método científico. Sin embargo, desde el punto de vista metodológico es precisa y apropiada para la disciplina, la tecnología existente y la cuestión específica que se esté investigando. Los datos resultantes de mediciones y observaciones son

interpretados desde la teoría, pues la pregunta original surgió a partir de los conocimientos y conceptos del científico. Después del planteamiento original y de poner a prueba la hipótesis, con frecuencia los científicos reportan sus resultados en algún congreso o coloquio, proporcionando de esta manera métodos y explicaciones tentativos a sus colegas. El trabajo futuro se basa en las ideas originales, así que publicaciones subsiguientes brindan oportunidades a los científicos para evaluar la explicación propuesta y reproducir el trabajo original, o bien aplicar dicha explicación a problemas nuevos y distintos. Aunque idealizada, esta descripción muestra la complejidad y la naturaleza cíclica de la indagación científica. El proceso de observación, hipótesis, inferencia, experimentación y retroalimentación continúa incesantemente, aunque de forma poco ordenada.

Enseñanza científica efectiva y aprendizaje basado en la indagación

La enseñanza de la ciencia es un proceso complejo que, en el mejor de los casos, combina la comprensión de los estudiantes, la ciencia y el entorno educativo, conforme los docentes toman decisiones a largo plazo respecto al currículo y reaccionan de manera inmediata a las situaciones en el aula. A pesar de esta complejidad, la investigación referente al aprendizaje muestra que hay cierta comprensión y ciertas prácticas que pueden hacer más efectiva la enseñanza científica.

La curiosidad de los estudiantes los lleva a aplicar indagación informal en muchos aspectos del mundo. La indagación natural que realizan los niños y la resolución formal de problemas que aplican los adultos, suelen seguir el mismo patrón: interés inicial, exploración de alternativas, formulación de una explicación, uso de dicha explicación y evaluación de la explicación a partir de su eficacia y de la información obtenida de otros. Queremos hacer notar que dicho proceso de indagación natural es muy similar al proceso formal de la indagación científica descrito arriba. Esto puede aplicarse a la discusión acerca del aprendizaje estudiantil. A continuación, citamos de una sección sobre entornos dedicados al aprendizaje del libro *How People Learn* (Cómo aprende la gente).

Una alternativa a simplemente seguir una serie de ejercicios preestablecidos, es exponer a los estudiantes a las características principales de una rama del conocimiento conforme surjan naturalmente al tratar de resolver problemas. Pueden estructurarse las actividades de manera que los estudiantes sean capaces de explorar, explicar, extender y evaluar su propio progreso. Es mejor introducir ideas nuevas cuando los estudiantes se encuentran con la necesidad de, o con una razón para, utilizarlas. Esto les ayuda a apreciar usos relevantes del

conocimiento, lo cual da sentido a lo que están aprendiendo (Bransford, Brown y Cocking, 1999, p 127).

Esta cita dirige nuestra atención a los hallazgos de la investigación que recomiendan estructurar las actividades de tal manera que permitan a los estudiantes explorar, explicar, extender y evaluar su propio progreso. Nótese la sugerencia de que las actividades se organicen de forma que impulsen el cambio conceptual y una reestructuración progresiva de las ideas de los estudiantes. Tal visión estructural de la enseñanza se justifica aún más por el hecho de que las oportunidades y el tiempo permiten a los estudiantes apreciar usos importantes del nuevo conocimiento y encontrarle sentido a sus experiencias de aprendizaje. Esta discusión conduce a nuestra presentación de un modelo de enseñanza.

EL MODELO DE ENSEÑANZA *ESTUDIO PARA EL CURRÍCULO DE LAS CIENCIAS BIOLÓGICAS*
(*BIOLOGICAL SCIENCES CURRICULUM STUDY, BSCS*) 5E

Este modelo de enseñanza proporciona a los docentes maneras de introducir en el aula el enfoque basado en la indagación. A continuación se describen brevemente las cinco fases del modelo.

Enganchar a los estudiantes

El objetivo de esta fase es capturar la atención y el interés de los estudiantes. Lograr que éstos se enfoquen en una situación, fenómeno, acontecimiento o problema que involucre temas del currículo, así como las habilidades que se pretende que desarrollen. Desde el punto de vista de la enseñanza, hacer una pregunta, plantear un problema o mostrar un fenómeno extraño son ejemplos de estrategias para interesar a los estudiantes. Si éstos se encuentran desconcertados, expresando ideas como “¿cómo sucedió eso?” o “ya me había preguntado eso”, pero especialmente “quiero saber más sobre eso”, probablemente estén involucrados en la situación de aprendizaje. Los estudiantes tienen sus propias ideas, pero la forma en que expresan conceptos y aplican sus habilidades puede no ser precisa ni productiva desde el punto de vista científico.

La fase de enganche o involucramiento no necesariamente toma toda una sesión de clase, pero con frecuencia se da el caso, debido a la necesidad de identificar y valorar el conocimiento previo de los estudiantes sobre el tema. Puede consistir solamente en una pregunta o en la demostración de un fenómeno breve. Por ejemplo, el docente puede describir en pocas palabras un fenómeno natural y preguntar a los estudiantes cómo podrían explicarlo. Lo principal es que los estudiantes se encuentren desconcertados y estén

pensando en temas relacionados con los objetivos de aprendizaje planteados en la secuencia de enseñanza. El segundo punto importante de esta fase es que brinda oportunidades al profesor para identificar de manera informal los conceptos erróneos expresados por los estudiantes. Enfatizo la naturaleza informal de estas observaciones. La fase de involucramiento no es una pre-evaluación.

Explorar fenómenos

En la fase de exploración, los estudiantes participan en actividades que les brindan tiempo y oportunidades para contrarrestar el desequilibrio generado por la experiencia de involucramiento. La clase (o clases) de exploración proporcionan experiencias concretas y actividades prácticas donde los estudiantes expresan las nociones que tienen y utilizan sus habilidades.

El papel del docente en la fase de exploración es iniciar la actividad, enmarcarla teóricamente según se requiera, proveer los materiales y equipo necesarios y corregir conceptos erróneos. Después de esto, debe permanecer al margen y dedicarse a escuchar, observar y guiar a los estudiantes conforme aclaran su comprensión, reconstruyen conceptos científicos y desarrollan sus habilidades.

Explicar fenómenos

Esta fase consiste, principalmente, en explicar desde el punto de vista científico los fenómenos involucrados. De esta manera, se vuelven claros y comprensibles los conceptos, prácticas y habilidades con los que los estudiantes se involucraron y que después exploraron. El profesor dirige la atención de los estudiantes a algunos aspectos clave de las fases previas, y les pide que los expliquen.

Utilizando las experiencias y explicaciones de los estudiantes, el docente introduce de manera breve y explícita conceptos científicos o tecnológicos. Se presentan de manera clara y sencilla las ideas centrales, incluyendo vocabulario y procesos científicos o ingenieriles. Deben utilizarse experiencias previas como contexto para la explicación. En esta fase, son comunes las explicaciones verbales. Sin embargo, el uso de videos, de Internet y de algunos programas de computadora también pueden proporcionar explicaciones excelentes.

Elaborar conceptos y procesos científicos

Los estudiantes se involucran en experiencias de aprendizaje que extienden, expanden y enriquecen los conceptos y las habilidades desarrollados en la fase previa. La intención es facilitar la transferencia de conceptos y habilidades a situaciones nuevas que estén relacionadas. Un punto muy importante en esta fase es utilizar actividades que presenten un reto para los estudiantes pero que esté a su alcance.

Durante la fase de elaboración, el profesor muestra una situación nueva que presente un reto. Debe fomentar las interacciones entre estudiantes y con otras fuentes de información, como material escrito, bases de datos, simulaciones y búsquedas en Internet.

Evaluar a los estudiantes

Es importante que en algún momento los estudiantes reciban retroalimentación sobre la pertinencia de sus explicaciones y sus habilidades. Es claro que habrá evaluaciones formativas informales desde la fase inicial de la secuencia de enseñanza. Sin embargo, el hecho es que los docentes deben evaluar y reportar resultados, por lo que se requiere una fase de evaluación.

Durante la fase de evaluación, el profesor debe involucrar a los estudiantes con experiencias que sean comprensibles y consistentes con las de las fases previas y congruentes con las explicaciones. El docente debe identificar la evidencia del aprendizaje de cada estudiante, así como la manera de obtener tal evidencia como parte de la fase de evaluación. La Figura 1 resume el modelo de enseñanza *BSCS 5E*.

Enganchar

El profesor o alguna tarea sugerida en el currículo ayuda a que los estudiantes se involucren con un concepto novedoso, mediante actividades breves que promuevan la curiosidad y saquen a la luz sus conocimientos previos. Esta actividad debe establecer relaciones con experiencias de aprendizaje previas y actuales, exponer las ideas previas de los estudiantes y dirigir su pensamiento hacia los objetivos de aprendizaje esperados.

Explorar

Las experiencias de exploración proporcionan a los estudiantes una base común de actividades que permite identificar los conceptos actuales (con frecuencia ideas erróneas), los procesos y las habilidades; asimismo facilita el cambio conceptual. Los estudiantes pueden realizar actividades de laboratorio que les ayuden a utilizar conocimientos previos para generar ideas nuevas, explorar preguntas y diseñar y conducir una investigación.

Explicar

La fase de explicación enfoca la atención de los estudiantes en un aspecto particular de sus experiencias de involucramiento y exploración, brindándoles oportunidades para que muestren su comprensión conceptual, habilidades procedimentales o comportamientos. En esta

fase, los docentes introducen directamente un concepto, un proceso o una habilidad. Una explicación por parte del profesor o alguna otra fuente, puede conducir a los estudiantes a una comprensión más profunda, que constituye una parte crucial de esta fase.

Elaborar

Los docentes ponen a prueba y amplían la comprensión conceptual y las habilidades de los estudiantes. A través de experiencias nuevas, los estudiantes desarrollan una comprensión más amplia y profunda, adquieren más información y mejoran sus habilidades. Los estudiantes aplican su nivel de comprensión del concepto y habilidades mediante la realización de actividades adicionales.

Evaluar

La fase de evaluación alienta a los estudiantes a que evalúen su comprensión y sus habilidades y permite que los profesores evalúen el progreso de cada estudiante hacia los objetivos del aprendizaje.

Figura 1. Resumen del modelo de enseñanza *BSCS 5E*

Con la idea de proporcionar herramientas a los docentes que favorezcan prácticas de enseñanza, basadas en los estudios de investigación sobre la forma en que aprenden los estudiantes, la Fundación Internacional para la Enseñanza de la Ciencia (*International Science Teaching Foundation, ISTF*) ha desarrollado currículos que incorporan el modelo de enseñanza *BSCS 5E*. El nombre de este currículo es “*Science Bits*” (Pedacitos de ciencia).

INCORPORACIÓN DEL MODELO DE ENSEÑANZA *BSCS 5E* POR PARTE DE *SCIENCE BITS*
Science Bits es una plataforma multimedia de lecciones de ciencias que fomentan el cambio de un modelo educativo expositivo tradicional, basado en la presentación de hechos por parte del profesor, a un modelo constructivista basado en la indagación, el pensamiento crítico, el descubrimiento y la idea de aprender involucrándose con los fenómenos naturales.

Para lograr esto, las lecciones de *Science Bits* se adhieren al modelo de enseñanza *BSCS 5E*, basado en la indagación para promover la comprensión, así como el involucramiento de los estudiantes en el aprendizaje de la ciencia. Estas lecciones incluyen docenas de recursos interactivos y multimedia (por ejemplo: simulaciones de laboratorio, videos, animaciones y modelos 3D). Esto contribuye al aprendizaje basado en la indagación incluso si la clase de ciencias no tiene lugar en un laboratorio ni en una excursión al campo. *Science Bits*

aprovecha las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) para apoyar la implementación de metodologías de enseñanza y aprendizaje activos en el aula de ciencias común, con el único requerimiento de un proyector.

El objetivo de *ISTF con Science Bits* es ayudar a que los docentes modifiquen la manera en que enseñan, y que al hacerlo permitan que los estudiantes modifiquen la manera en que aprenden. Además, no pretende presentar un modelo que resulte de interés sólo para unos pocos, sino que esté diseñado para ayudar a todos los profesores a mejorar sus habilidades de enseñanza; con este fin, el modelo puede ser abordado gradualmente, con lo que resulta de interés para todos los docentes. Considerando este objetivo, *ISTF* escogió el modelo de enseñanza *BSCS 5E* porque es comprensible y fácil de utilizar, se basa en la teoría educativa y hay un cuerpo creciente de investigación que valida su efectividad.

Veamos cómo *Science Bits* utiliza el modelo de enseñanza *BSCS 5E* apoyándose en TIC.

Actividades para enganchar

La fase de involucramiento en *Science Bits* siempre consiste en un video corto que presenta una situación inicial dentro de un contexto de la vida real, para que los estudiantes puedan relacionar lo que están a punto de aprender con su experiencia cotidiana. El video termina mostrando un problema o un fenómeno extraño que los estudiantes no pueden explicar con su comprensión en ese momento. Esto genera un conflicto cognitivo o un desequilibrio, que puede dar lugar a buenas condiciones para el aprendizaje. Podemos observar aquí dos niveles de involucramiento: un *involucramiento contextual*, basado en el hecho de que los estudiantes se sienten relacionados con la situación de la vida real presentada, y un *involucramiento cognitivo*, basado en la curiosidad que surge cuando los estudiantes se dan cuenta de que las nociones que manejan no pueden explicar adecuadamente lo que acaban de observar, así que se encuentran desconcertados. Después del video, varias preguntas y actividades relacionadas con él ayudan a sacar a la luz los conocimientos previos de los estudiantes y/o las ideas erróneas.

Actividades de exploración

La fase de exploración en *Science Bits* consiste en una actividad guiada que pone a prueba las ideas iniciales de los estudiantes, y les ayuda a adquirir comprensión de los conceptos científicos a través de la indagación, el razonamiento y la discusión en grupo. El profesor conduce a los estudiantes a través de la lección como un facilitador que escucha y observa, mientras guía a los estudiantes a

una comprensión nueva y más profunda. En esta fase, *Science Bits* se apoya mucho en los experimentos virtuales, las simulaciones, las actividades de video de tipo “predice-observa-explica” y los experimentos de laboratorio. Estas actividades fomentan la indagación aún cuando no haya un laboratorio disponible. Con frecuencia, la razón entre el tiempo dedicado a actividades en el aula y el tiempo dedicado a actividades en el laboratorio es 3:1. Esto permite que los estudiantes lleven a cabo experimentos y observaciones virtuales. Se alienta a los docentes a proporcionar experiencias de laboratorio o de campo reales siempre que sea posible. La mayoría de las experiencias virtuales que se muestran en los videos pueden reproducirse fácilmente en el aula, pues utilizan materiales fáciles de conseguir.

Explicar fenómenos naturales

Science Bits está diseñado para dar más preponderancia al papel del docente en la fase de explicación. Esto constituye una pequeña variación respecto al modelo *BSCS 5E*. *Science Bits* brinda una explicación formal de los conceptos científicos (y otros relacionados) explorados en la fase previa. *Science Bits* proporciona una amplia variedad de recursos multimedia, como simulaciones de laboratorio y experimentos en video, que los docentes pueden utilizar para complementar sus explicaciones. Además, todos los conceptos presentados en esta fase vienen acompañados de ejercicios interactivos que refuerzan lo que acaba de explicarse mediante actividades y observaciones.

Elaborar a partir de explicaciones para aplicarlas a otros fenómenos

En la fase de elaboración, los estudiantes deben aplicar los conceptos y las habilidades aprendidos a lo largo de la unidad para resolver un problema de la vida cotidiana. *Science Bits* utiliza esta fase como una oportunidad para introducir una actividad de Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) para resolver un problema cotidiano. Para presentar su idea, equipos de estudiantes deben utilizar sus nuevos conocimientos y herramientas digitales para investigar y analizar, además de su propia creatividad. En esta fase, “elaborar” tiene dos sentidos: *elaboración cognitiva*, requerida por el proceso de transferencia de conocimientos, y *elaboración*, que se refiere a la creación de algo que resuelva un problema planteado en un contexto de la vida real (un reporte, una presentación, un video-blog, un diseño, un modelo físico, etc.). Las actividades prácticas en el laboratorio y/o las excursiones al campo son muy valiosas en esta fase.

Evaluar

La última fase está diseñada para evaluar el conocimiento y las habilidades adquiridos utilizando un examen, que no se enfoca en la habilidad de los

estudiantes para memorizar conceptos sino en su capacidad para aplicar los conocimientos adquiridos. Se alienta a los estudiantes a utilizar sus cuadernos e Internet mientras hacen el examen. De hecho, algunas de las preguntas requieren que se busque información en Internet. El examen se corrige de manera automática, y los datos de la evaluación son de fácil acceso y revisión para los docentes.

En conclusión, *ISTF* está diseñado para ayudar a profesores “tradicionales” para que puedan impartir la enseñanza basada en la indagación, utilizando el currículo de *Science Bits*. Hasta la fecha, el programa ha logrado involucrar a miles de docentes, de todos los niveles de enseñanza, en países que están adoptando poco a poco la enseñanza de la ciencia basada en la indagación, tanto de habla hispana como de habla inglesa.

PREGUNTAS Y DISCUSIÓN

En esta sección se abordan algunas cuestiones planteadas por quienes desarrollan el currículo y por profesores que aplican a los materiales y a la enseñanza el modelo *5E*. Este se basa en la psicología del aprendizaje (*NRC, 1999a*) y en la observación de que los estudiantes necesitan tiempo y oportunidades para formular o reconstruir conceptos y habilidades. Estos dos factores justifican tanto la secuencia de *5E* como cada una de las fases.

¿Cuál es el mejor tiempo para aplicar el modelo de enseñanza?

El tiempo óptimo de aplicación es una unidad de dos a tres semanas, donde cada fase puede tomar una o más sesiones de clase. Por ejemplo, podría haber dos clases de exploración y tres clases de elaboración en una unidad de enseñanza.

¿Puede omitirse una fase?

No se recomienda omitir ninguna fase. La investigación indica que esto reduce la efectividad del modelo (*Taylor, Van Scotter y Coulson, 2007; Wilson et al., 2010*).

¿Puede añadirse o repetirse una fase?

Si la justificación para hacerlo se basa en la investigación, la respuesta es sí. Tener una cantidad demasiado grande de fases puede ser confuso para el docente y resulta impráctico, reduciendo la efectividad del modelo.

¿Qué sucede si necesita explicarse un concepto antes (o después) de la fase de explicación?

Esto puede acontecer, pues algunos conceptos requieren de otros conceptos previos para poder ser comprendidos. El docente debe utilizar su juicio respecto a la prioridad natural de los conceptos.

CONCLUSIÓN

El modelo de enseñanza *BSCS 5E* es ampliamente utilizado, en parte porque es fácil de usar y porque responde preguntas acerca de la enseñanza de la ciencia basada en la indagación. Promovemos el uso del modelo y de materiales de enseñanza que lo incorporen. Conforme los docentes implementen la enseñanza basada en la indagación, aplicarán las adaptaciones apropiadas de acuerdo con las circunstancias de su escuela, su aula y su grupo.

REFERENCIAS

Este capítulo se basa en las siguientes publicaciones originales:

Bybee, R.W. (2002). "Scientific Inquiry, Student Learning and the Science Curriculum." En *Learning Science and the Science of Learning*. Bybee, R. (ed.). Arlington, Virginia, The NSTA Press.

Bybee, R.W. (2015). *The BSCS 5E Instructional Model: Creating Teachable Moments*. Arlington, Virginia. The NSTA Press.

Bybee, R. W. (2016). *El modelo de enseñanza 5E del BSCS. Creando momentos de enseñanza*. International Science Teaching Foundation & NSTA, ISBN: 978-0-9956386-0-0.

Bybee, R.W., J.A. Taylor, A Garner, P. Van Scotter, J. Carlson Powell, A Westbrook y N. Landes. (2006). *BSCS 5E Instructional Model: Origins and Effectiveness*. Un reporte preparado para Office of Science Education, National Institutes of Health, Colorado Springs, CO: BSCS.

Bybee, R.W. (2014) "The BSCS 5E Instructional Model: Personal Reflections and Contemporary Implications." *Science and Children* Vol. 51, No 8, pp. 10-13.

National Research Council (NRC) 1999a. *How People Learn: Brain, Mind, Experience and School*. Washington, DC. National Academies Press.

National Research Council (NRC). 1999b. *How People Learn: Bridging Research and Practice*. Washington DC. National Academies Press.

Taylor, J., P. Van Scotter y D. Coulson. 2007. *Bridging Research on Learning and Student Achievement: The Role of the Instructional Materials*. *Science Educator* 16 (2): 44-50.

Wilson, C.D., J. Taylor, S.M. Kowalski y J. Carlson. 2010. *The Relative Effect and Equity of Inquiry-based and Commonplace Science Teaching on Students' Knowledge, Reasoning, and Argumentation*. *Journal of Research in Science Teaching* 47(3): 276-301.

CAROL O'DONNELL

Como directora del Centro Smithsonian para la Educación en Ciencias, es responsable operativa, entre otras actividades, de la planeación y organización del Centro, incluyendo los talleres de sensibilización y liderazgo para la educación en la reforma a la Educación en ciencias de los Estados Unidos, desde el nivel preescolar hasta la preparatoria. Es representante de los Estados Unidos en el Programa de Educación Científica del Consejo Mundial del IAP. Se desempeña también como profesora de medio tiempo en la facultad del Departamento de Física de la Universidad Georges Washington en Washington DC.



RESULTADOS DE UN ESTUDIO DE VALIDACIÓN DE CINCO AÑOS DEL MODELO *LASER*: UN ENFOQUE SISTÉMICO Y SUSTENTABLE PARA LOGRAR ALTOS NIVELES EN LOS ESTÁNDARES DE LA EDUCACIÓN EN CIENCIAS



Carol L. O'Donnell, Amy D'Amico
Centro Smithsonian para la Educación en Ciencias
Todd Zoblotsky, Martha Alberg

Universidad de Memphis, Centro de Investigación en Políticas Educativas (*CREP*, por sus siglas en inglés)

Este reporte se llevó a cabo con una beca de validación (U396B100097) otorgada al Centro Smithsonian para la Educación en Ciencias, antes Centro Nacional de Recursos Educativos (de los Estados Unidos de América), por el Departamento de Educación de los Estados Unidos de América a través del programa de becas Invertir en Innovación (*Investing in Innovation, i3*). Las opiniones, los hallazgos, las conclusiones y las recomendaciones que aparecen en este reporte, no reflejan necesariamente el punto de vista del Departamento de Educación de los Estados Unidos de América ni el de otros patrocinadores.

SINOPSIS

En este artículo se presentan y discuten los resultados de un estudio de validación en el marco del programa Invertir en Innovación (*i3*), otorgado por el Centro Smithsonian para la Educación en Ciencias, para evaluar la eficacia del modelo de Liderazgo y Ayuda para la Reforma de Educación en Ciencias (*Leadership and Assistance for Science Education Reform, LASER*), que describe la infraestructura necesaria para transformar la educación científica en una región o un estado, y consta de cinco pilares o áreas de influencia:

- 1) un currículo enfocado en la Enseñanza de la Ciencia Basada en la Indagación (ECBI);
- 2) materiales de apoyo;
- 3) desarrollo profesional diferenciado;
- 4) desarrollo de liderazgo a través de un apoyo continuo tanto administrativo como de la comunidad;
- 5) herramientas de evaluación alineadas con los estándares

estatales y nacionales. Este estudio, utilizó una prueba controlada aleatorizada (*randomized controlled trial, RCT*) por grupos, involucró anualmente a 60,000 estudiantes, 1900 docentes, 125 escuelas y 16 distritos escolares en tres estados de la unión americana: Carolina del Norte, Nuevo México y Texas. Dio seguimiento longitudinal a 9000 de dichos estudiantes, a lo largo de tres años, correspondientes a dos niveles educativos distintos (básico y medio en los Estados Unidos de América, que equivalen a nivel primaria y secundaria respectivamente, en el Sistema Educativo en México). Los resultados muestran mejoras en el aprovechamiento en ciencias por parte de los estudiantes que aplicaron el Modelo *LASER*, dichas mejoras pueden ser cuantificadas y se presentan especialmente en estudiantes de contextos vulnerables: estudiantes a los que no se les enseña en su lengua materna (aprendices del idioma inglés), estudiantes con desventajas económicas, estudiantes que reciben servicios de educación especial y mujeres. En este trabajo, se discuten los retos para implementar a gran escala una reforma en educación científica a través de una región o un estado, así como las lecciones aprendidas en el proceso.

INTRODUCCIÓN

Un sistema educativo que sea competitivo a nivel mundial es crucial para preservar la seguridad económica de un país. Estudiantes y trabajadores bien educados producen innovación, crecimiento económico y prosperidad. Sin embargo, los Estados Unidos de América están atrasados en varias áreas. De acuerdo con el Índice de Innovación Bloomberg de 2015 (Coy, 2016), los Estados Unidos de América están en sexto lugar mundial en cuanto a innovación, atrás de Corea del Sur, Japón, Alemania, Finlandia e Israel; en decimoprimer lugar respecto a investigación y desarrollo (*R&D*, por sus siglas en inglés); en cuarto lugar respecto a patentes; en décimo lugar en cuanto a manufactura. La buena noticia es que está en primer lugar en compañías de alta tecnología. La mala noticia es que está en el lugar 33 en lo que respecta a educación.

La Enseñanza de la Ciencia Basada en la Indagación (ECBI) efectiva es, en sí misma, un motor de innovación. Es necesaria ahora con más urgencia que nunca antes, para tratar asuntos fundamentales como cambio climático, seguridad nacional/internacional, conservación de recursos, deforestación, biodiversidad, epidemias y otros asuntos relacionados con la salud, el comercio, etc. Sin embargo, a pesar de décadas de esfuerzos para elevar los estándares en educación científica, el desempeño académico de los estudiantes estadounidenses es inferior al de estudiantes de otros países desarrollados. De hecho, en exámenes internacionales de comprensión de lectura, matemáticas y ciencias naturales, los estudiantes estadounidenses consistentemente tienen un desempeño muy inferior al de estudiantes de países como Finlandia y Corea del Sur (Kastberg, Chan y Murray, 2016). Al salir de la escuela, los estudiantes

estadounidenses carecen de las herramientas matemáticas y científicas que se requieren para un desempeño laboral adecuado en el siglo XXI.

Durante la década pasada, la cantidad de tiempo que los estudiantes estadounidenses de educación básica y media dedican al estudio de la ciencia ha decrecido significativamente (Blank, 2013). Esta falta de dedicación al área científica se refleja en el desempeño que tienen los estudiantes en exámenes departamentales a nivel nacional, que cada vez hacen más énfasis en medir, además de conocimientos, el razonamiento científico. Sin embargo, el gobierno de Estados Unidos de América ha tratado de hacer cambios y empieza a notarse cierto crecimiento. Por ejemplo, en 2013 se introdujeron los Estándares de Ciencias de la Próxima Generación (*NGSS*, por sus siglas en inglés). Estos estándares se enfocan en tres dimensiones, bien diferenciadas pero con la misma importancia, que se entrelazan para conformar cada estándar o expectativa de desempeño: ideas centrales de cada disciplina, prácticas científicas e ingenieriles y conceptos transversales (*NGSS Lead States*, 2013). En 2016, más de 18 estados de la Unión Americana han adoptado los estándares, ya sea en su totalidad o haciendo algunas adecuaciones. Además, de acuerdo con la Evaluación Nacional de Progreso Educativo en Estados Unidos de América de 2015 (*NAEP*, por sus siglas en inglés), llamada “*The Nation’s Report Card*” (La boleta de calificaciones de la nación), se reportan avances en el desempeño científico de estudiantes tanto de 4° grado como de 8° grado y la ligera reducción de brechas asociadas con el origen racial (*U.S. Department of Education*, 2016). Además, las mujeres mejoraron más rápidamente que los hombres, reduciendo la brecha de género en 8° grado y eliminándola por completo en 4° grado (*U.S. Department of Education*, 2016).

¿Qué podemos hacer para asegurar que la reforma en educación científica continúe mejorando el aprovechamiento de los estudiantes? Creemos que la respuesta es que debemos asegurarnos de que el sistema educativo no funcione de manera aislada, sin considerar a sus clientes, y además debemos rendir cuentas a padres de familia y miembros de la comunidad, no sólo al gobierno. Tenemos que abrir nuestras puertas, establecer una comunicación entre todos los grupos involucrados, relacionar el sistema educativo formal con el ambiente laboral y los espacios de aprendizaje informal. Debemos implementar un esquema realmente sistémico, que involucre a los participantes a todos los niveles, desde estudiantes y docentes hasta los líderes distritales, estatales y nacionales. El Modelo *LASER* es un modelo validado que demuestra que todos los elementos del sistema deben correlacionarse para transformar los programas de educación científica en comunidades rurales, urbanas y suburbanas. El estudio de validación *LASER* Invertir en Innovación (*i3*), realizado a lo largo de

cinco años, es justamente lo que valida el modelo, y es el tema principal de este artículo.

El propósito de este artículo es presentar una síntesis de los resultados de cinco años de una prueba controlada aleatorizada (*randomized controlled trial, RCT*) por grupos, involucró anualmente a 60,000 estudiantes, 1900 docentes, 125 escuelas y 16 distritos escolares en tres estados de la unión americana: Carolina del Norte, Nuevo México y Texas. Dio seguimiento longitudinal a 9000 de dichos estudiantes, a lo largo de tres años, correspondientes a dos niveles educativos distintos. Los resultados muestran mejoras en el aprovechamiento en ciencias por parte de los estudiantes que aplicaron el Modelo *LASER*, dichas mejoras pueden ser cuantificadas y se presentan especialmente en estudiantes de contextos vulnerables: estudiantes a los que no se les enseña en su lengua materna (aprendices del idioma inglés), estudiantes con desventajas económicas, estudiantes que reciben servicios de educación especial y mujeres. En este trabajo se discuten los retos y se recomiendan los pasos a seguir para usar el Modelo *LASER* e implementar a gran escala la Enseñanza de la Ciencia Basada en la Indagación.

CONTEXTO DEL ESTUDIO

Resumen del modelo LASER

Con más de 30 años de experiencia en el desarrollo de la educación científica en los Estados Unidos de América, el Centro Smithsoniano para la Educación en Ciencias se ha dedicado a ayudar a los educadores a transformar la educación científica en todos los niveles. En contraste con la mayoría de las instituciones y organizaciones educativas, que se enfocan exclusivamente en algún aspecto particular, como el currículo o el desarrollo profesional, el Centro Smithsoniano para la Educación en Ciencias utiliza un enfoque sistémico. El Modelo *LASER* consta de cinco pilares o áreas de influencia: 1) un currículo enfocado en la Enseñanza de la Ciencia Basada en la Indagación (ECBI); 2) materiales de apoyo; 3) desarrollo profesional diferenciado; 4) desarrollo de liderazgo a través de un apoyo continuo tanto administrativo como de la comunidad; 5) herramientas de evaluación alineadas con los estándares estatales y nacionales. La teoría de acción del Modelo *LASER* comienza con una base sólida de conocimiento de la investigación y de las prácticas más adecuadas para favorecer el aprovechamiento de los estudiantes (como se muestra en la Figura 1)

El desarrollo de liderazgo que proporciona el Modelo *LASER* provee a los equipos de liderazgo con conocimientos operativos respecto a la investigación y las mejores prácticas educativas. Equipos de profesores, personal administrativo, padres de familia, académicos, directivos de museos y gente de negocios se



Figura 1. Teoría de acción del Modelo LASER

ven involucrados de manera activa en experiencias que les permiten aprender la manera de desarrollar e implementar su nueva visión sobre la enseñanza y el aprendizaje de la ciencia efectivos y que incluyan áreas del sistema necesarias para mejorar el aprovechamiento de los estudiantes. Los equipos de liderazgo desarrollan planes estratégicos basados en la visión conjunta de sus integrantes, los

cuales se implementan durante mucho más tiempo que el otorgado por la beca. Todos los días, el enfoque basado en la indagación del Centro Smithsonian para la Educación en Ciencias proporciona a los estudiantes de toda la nación experiencias de aprendizaje de primera mano cautivadoras. Un grupo de estudiantes de 4° grado en Texas puede estar terminando los detalles de la instalación eléctrica que colocaron en una casa con cuatro cuartos, incluyendo apagadores, para mostrar su comprensión y manejo de los circuitos eléctricos. Un estudiante de nivel medio en una zona rural de Carolina del Norte puede estar recopilando datos para medir y predecir los efectos de la fuerza y el movimiento. Estudiantes de 8° grado de Nuevo México pueden estar discutiendo un experimento basado en la evidencia, y la reciente atracción que sienten por la ciencia les ayuda a aprender aunque no lo hagan en su lengua materna (<https://ssec.si.edu/hands-science-and-non-english-speakers>).

El Modelo LASER empezó a operar de manera oficial a nivel regional en 1998, mediante una iniciativa de nueve años patrocinada por la Fundación Nacional para la Ciencia (NSF, por sus siglas en inglés), así como por numerosas corporaciones y fundaciones. Cuatro estados que participaron en la fase piloto del Modelo LASER, integraron de manera exitosa proyectos autosustentables, incluyendo pero no limitándose a Pensilvania, Alabama, Washington y Delaware. Todas esas regiones han sido objeto de evaluaciones exhaustivas por parte de terceros, lo que ha mostrado el impacto positivo de vincular los materiales didácticos pertinentes para la enseñanza de la ciencia basada en la indagación y el correspondiente desarrollo profesional de los docentes. Como se muestra en la Figura 2, el Centro Smithsonian para la Educación en Ciencias ha mantenido más de 74 Talleres de Planeación Estratégica, que involucran a más de 923 equipos comunitarios procedentes de todos los rincones del planeta, abarcando 47 estados de la Unión Americana, así como 25 países.



Figura 2. Mapa mundial del impacto del Modelo LASER

Evaluación externa del modelo LASER

El evaluador externo que participó en el proyecto de validación *LASER i3* del Centro Smithsonian para la Educación en Ciencias, fue el Centro de Investigación en Políticas Educativas (*CREP*, por sus siglas en inglés) de la Universidad de Memphis (Alberg, 2015; Zoblotsky, Bertz, Gallagher y Alberg, 2016). *Westat* y *Abt Associates* proporcionó asistencia técnica mediante el apoyo del programa *i3* del Departamento de Educación de los Estados Unidos de América. El *CREP*, un centro de excelencia de Tennessee, es una unidad de investigación y evaluación basada en el Colegio de Educación, Salud y Ciencias Humanas de la Universidad de Memphis. El *CREP* proporcionó al Centro Smithsonian para la Educación en Ciencias los resultados parciales de la evaluación que consistieron en reportes técnicos formales anuales, y de manera informal mediante presentaciones y material escrito. También se presentó un reporte final con hallazgos, conclusiones y recomendaciones basados en el análisis de todos los datos disponibles, tanto cuantitativos como cualitativos. El material que constituye este reporte final elaborado por Alberg (2015) incluye:

- Una visión general sobre los resultados de la implementación de los cinco pilares o áreas de influencia: 1) un currículo enfocado en la Enseñanza de la Ciencia Basada en la Indagación (ECBI); 2) materiales de apoyo; 3) desarrollo

profesional diferenciado; 4) desarrollo de liderazgo a través de un apoyo continuo tanto administrativo como de la comunidad; 5) herramientas de evaluación alineadas con los estándares estatales y nacionales.

- Un reporte técnico final con el análisis de los datos de aprovechamiento en todas las regiones, así como los resultados de análisis de datos reportados previamente (Modelo Jerárquico Lineal).
- Un reporte de los resultados de los estudios de caso realizados en 20 de las escuelas participantes.

Un reporte adicional escrito por Zoblotsky et al (2016) se enfoca en las preguntas de investigación, de carácter tanto confirmatorio como explicativo, que fueron presentadas a *i3* por los dos estudios realizados bajo el auspicio de la beca de validación *LASER i3*, y que explican con detalle la metodología y la instrumentación relacionadas con el nivel de inferencias por grupos.

En este artículo, se resumen los métodos y los resultados de los dos reportes por parte del *CREP* (ver Alberg, 2015; Zoblotsky, Bertz, Gallagher y Alberg, 2016). Sin embargo, no se hablará acerca de los detalles técnicos del estudio, que pueden encontrarse en los reportes del *CREP* disponibles en la página web del Centro Smithsonian para la Educación en Ciencias: <https://ssec.si.edu/laser-i3>.

MÉTODOS

Muestra

El estudio de validación *i3* de *LASER* involucró a estudiantes de los grados 1° a 8°, así como a sus profesores. La muestra consistió en una selección aleatoria de los grupos existentes, que no fueron modificados de ninguna manera. Dichos grupos pertenecían a 125 escuelas de niveles básico y medio, distribuidas en 16 distritos escolares de tres estados: Carolina del Norte, Nuevo México y Texas. Lo anterior con el fin de determinar la eficacia del Modelo *LASER* contando con una cantidad suficiente de datos para realizar un análisis confiable en cada uno de los distintos grupos demográficos. En total, anualmente estuvieron involucrados 60,000 estudiantes y sus 1900 profesores, y se siguió de manera longitudinal durante tres años a una submuestra de 9000 estudiantes, de nivel básico a nivel medio (ver Figura 3).

Para realizar el estudio, se aparearon grupos en igualdad de condiciones y se eligió al azar cuál seguiría el método *LASER* y cual fungiría como grupo de control. Esto se hizo por separado para nivel básico y nivel medio, de manera



Figura 3. Muestra

que realmente se trata de dos estudios independientes: uno para cada nivel educativo.

Se aplicó una evaluación previa a los estudiantes de 3° grado (para educación básica) y de 6° grado (para educación media) durante el año escolar 2011-2012. El análisis demográfico de 6291 de los 9000

estudiantes que fueron sujetos a un seguimiento longitudinal, mostró que 43.9% de ellos eran de origen hispano, 30.6% eran caucásicos, 19.4% eran de origen afroamericano, 2.8% eran amerindios/nativos de Alaska y 1.65% eran de origen asiático (ver Figura 4).

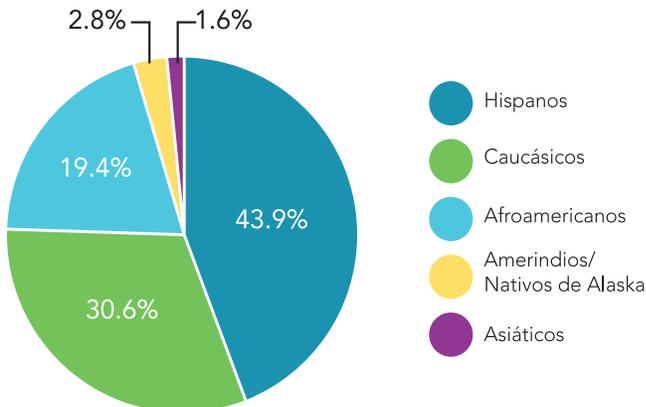


Figura 4. Datos regionales y demográficos de la muestra. El tamaño de la muestra (n) es 6,291.

Adaptado de CREP, "SSEC. El modelo LASER: un enfoque sistémico y sustentable para lograr altos niveles en los estándares de la educación en ciencias., Reporte Final, Sección 3" (Memphis: CREP / Universidad de Memphis, 15 de julio de 2015), 6-7.

Diseño de la investigación: prueba controlada aleatorizada por grupos

Los investigadores del CREP formaron pares de escuelas identificando cohortes tanto en nivel básico como en nivel medio, de acuerdo con sus perfiles demográfico y de aprovechamiento, haciendo énfasis particular en el porcentaje de estudiantes elegibles para su participación en los almuerzos gratuitos o de precio reducido, y el porcentaje de estudiantes aprendices del idioma inglés. Después se eligió al azar una escuela de cada par para experimentar los cinco pilares del Modelo LASER (a lo que se refirieron como "Fase 1: implementación inmediata" o "Condición de tratamiento"), mientras que la otra escuela del par continuó trabajando como lo habían hecho hasta ese momento, excepto en el

último año del estudio cuando, una vez concluida la recopilación de datos, se entregó a todas las escuelas involucradas el currículo y los componentes de desarrollo profesional de *LASER*, como un reconocimiento a su participación (el *CREP* se refirió a dichas escuelas como “Fase dos: tratamiento tardío” o “Condición de comparación”).

Intervención

La aplicación del Modelo de Liderazgo y Ayuda para la Reforma de Educación en Ciencias (*LASER*) fue la intervención en el estudio. El Modelo *LASER* describe la infraestructura para transformar la educación científica, que consta de cinco pilares o áreas de influencia: 1) un currículo enfocado en la Enseñanza de la Ciencia Basada en la Indagación (ECBI); 2) materiales de apoyo; 3) desarrollo profesional diferenciado; 4) desarrollo de liderazgo a través de un apoyo continuo tanto administrativo como de la comunidad; 5) herramientas de evaluación alineadas con los estándares estatales y nacionales. A través del uso de currículos y servicios profesionales para mejorar la enseñanza y el aprendizaje de la ciencia y que están basados en la investigación pedagógica, *LASER* conduce a un aprovechamiento mayor en el área de ciencias, la cual puede cuantificarse. A continuación se describirá cada uno de los componentes del Modelo *LASER*.

Currículo con un enfoque indagatorio, basados en la investigación pedagógica

El Centro Smithsonian para la Educación en Ciencias se reunió con sus tres aliados estatales para seleccionar contenidos para el currículo que cumplieran los estándares científicos para *K-8* (Preescolar a Secundaria) en los tres estados. Finalmente se escogieron tres unidades de Conceptos de Ciencia y Tecnología (*Science and Technology Concepts, STC*) para cada grado, de 1° a 8°, aplicándose un total de 24 unidades (ver la matriz del currículo *STC* en la Figura 5). Cada “*kit*” de materiales incluía una guía del profesor, 24 guías del estudiante y todo el material necesario para un grupo escolar de 24 estudiantes.

La introducción de las unidades curriculares se llevó a cabo gradualmente, los docentes recibieron sólo una unidad por año, y se les brindó desarrollo profesional enfocado a dicha unidad durante el verano previo a su implementación, como se muestra en la Figura 6. Este esquema se repitió anualmente, de manera que los profesores tuvieron acceso a una única unidad por año, durante los cinco años otorgados por la beca. Los profesores que participaron en la Fase 2: implementación tardía, recibieron una unidad y el desarrollo profesional correspondiente sólo en el último año, cuando ya habían sido recopilados todos los datos.

1	CN	Sólidos y Líquidos	CN	Organismos	CN	Suelos	CN	Suelos			
	Hou		Hou		Hou		Hou				
	NM		NM		NM		NM				
2	CN	Ciclo de Vida de las Mariposas	Hou	Cambios	CN	El Clima	CN	Sonidos			
	Hou		CN	Sonidos	Hou		Suelos	NM	Suelos		
	NM		NM	NM	NM		NM	Hou	Ciclo de vida de las Mariposas		
3	CN	Crecimiento y Desarrollo de las Plantas	CN	Cambios	CN	La tierra y el agua	CN	Crecimiento y Desarrollo de las Plantas			
	Hou		Hou		Hou		Hou				
	NM		Hou		Rocas y Minerales		Hou		Rocas y Minerales		
4	CN	Circuitos Eléctricos	Hou	Ecosistemas	Hou	La tierra y el agua	CN	Rocas y Minerales			
	Hou		CN	Estudiando Animales	CN	Rocas y Minerales	NM	Rocas y Minerales			
	NM		NM	Estudiando Animales	NM	Rocas y Minerales	Hou	Circuitos Eléctricos			
5	CN	Diseño y Movimiento	CN	Ecosistemas	CN	Micromundos	CN	Diseño y Movimiento			
	Hou		NM		Estudiando Animales		NM		Micromundos	Hou	Micromundos
	NM		Hou		Estudiando Animales		Hou		Flotando y Hundiendo	NM	Micromundos
6	CN	Explorando las Propiedades de la Materia	CN	Explorando los Sistemas Planetarios	CN	Explorando las Placas Tectónicas	CN	Explorando las Placas Tectónicas			
	NM	Explorando los Sistemas Planetarios	NM	Explorando las Propiedades de la Materia	Hou	Comprendiendo el Clima y el Estado del Tiempo	Hou	Comprendiendo el Clima y el Estado del Tiempo			
	Hou	Explorando los Sistemas Planetarios	Hou	Explorando las Propiedades de la Materia	NM	Comprendiendo el Clima y el Estado del Tiempo	NM	Comprendiendo el Clima y el Estado del Tiempo			
7	CN	Experimentando con la Fuerza y el Movimiento	CN	Estudiando el Desarrollo y la Reproducción de los Organismos	CN	Comprendiendo el Clima y el Estado del Tiempo	CN	Experimentando con la Fuerza y el Movimiento			
	NM		NM		Investigando la Biodiversidad y la Interdependencia		NM		Estudiando la Reproducción y el Desarrollo de los Organismos	Hou	Estudiando la Reproducción y el Desarrollo de los Organismos
	Hou		Hou		Investigando la Biodiversidad y la Interdependencia		Hou		Estudiando la Reproducción y el Desarrollo de los Organismos	NM	Investigando la Biodiversidad y la Interdependencia
7	CN	Experimentando con Mezclas, Compuestos y Elementos	CN	Investigando el Diseño de Circuitos	CN	Investigando la Biodiversidad y la Interdependencia	CN	Experimentando con Mezclas, Compuestos y Elementos			
	NM		NM		Explorando las Placas Tectónicas		NM		Explorando las Placas Tectónicas		
	Hou		Hou		Comprendiendo el Clima y el Estado del Tiempo		Hou		Comprendiendo el Clima y el Estado del Tiempo		

Figura 5. Matriz curricular STC

	Año 1		Año 2		Año 3		Año 4		Año 5	
	2010-2011 Ciclo escolar	☀	2011-2012 Ciclo escolar	☀	2012-2013 Ciclo escolar	☀	2013-2014 Ciclo escolar	☀	2014-2015 Ciclo escolar	
Fase 1		Nivel 1 de capacitación	Unidad A	Nivel 2 de capacitación	Unidad A	Nivel 2 de capacitación	Unidad A	Nivel 2 de capacitación	Unidad A	
				Nivel 1 de capacitación	Unidad B	Nivel 1 de capacitación	Unidad B	Nivel 1 de capacitación	Unidad B	
Fase 2							Unidad C	Nivel 2 de capacitación	Unidad C	
								Nivel 1 de capacitación	Unidad A	

Figura 6. Plan de implementación del Currículo y Desarrollo profesional, 1 a 5 años

El material del currículo *STC* fue desarrollado por el Centro Smithsonian para la Educación en Ciencias y se fundamenta en los principios de la Enseñanza de la Ciencia Basada en la Indagación (ECBI), con la meta de brindar en las aulas de todo el mundo el mismo tipo de aprendizaje mediante la experiencia que puede encontrarse en los museos y centros de investigación smithsonianos. Cada unidad *STC* proporciona apoyo al docente mediante un conjunto de lecciones, ordenadas cuidadosamente en secuencia, que cubren ocho semanas de instrucción, además de los materiales y el equipo necesarios para cada lección y una selección de lecturas apropiadas para los estudiantes. Las lecciones son interdisciplinarias e integran a la ciencia, no sólo habilidades de ingeniería, de matemáticas y de tecnología, sino también la historia, el arte y la cultura del Smithsonian al abordar temas científicos relevantes.

Materiales de Apoyo

Los materiales de apoyo necesarios variaron de acuerdo al distrito. Algunos distritos simplemente distribuyeron los “kits” de materiales a los docentes, quienes se ocuparon de mantenerlos y de proporcionar los materiales consumibles una vez utilizados. Otros distritos utilizaron centros de materiales ya existentes, que distribuyeron los “kits” a los docentes y los recolectaron después de ser utilizados, para prepararlos nuevamente y enviarlos a otros docentes según fuera necesario.

Desarrollo profesional (Professional Development, PD)

Para apoyar la implementación del contenido del currículo ECBI, el Centro Smithsonian para la Educación en Ciencias brindó a cada docente alrededor de 90 horas de desarrollo profesional (*PD*) a lo largo de los cinco años que duró la beca. El desarrollo profesional se dividió en dos partes. La primera parte, enfocada en el currículo, presentaba a los docentes la unidad como conjunto, las diversas lecciones en detalle, la manera de utilizar el material de cada lección, además de dirigir la implementación de las lecciones para asegurar una enseñanza efectiva. Se brindó un curso de desarrollo profesional durante dos o tres días a cada docente cada año, a partir del ciclo escolar 2010-2011. Al igual que las unidades del currículo, el desarrollo profesional se impartió gradualmente, de manera que los profesores sólo recibieron *PD* enfocado a una unidad particular durante el verano previo a su aplicación. Por ejemplo, los profesores fueron capacitados durante el verano de 2010 en la unidad A, y después aplicaron la unidad A en otoño de 2010. Este patrón se repitió año con año durante los primeros cuatro años de la beca. Los docentes que pertenecían a la Fase 2: implementación tardía, recibieron la unidad A y el desarrollo profesional relativo a ella durante el último verano del estudio, cuando todos los datos habían sido ya recopilados.

La segunda parte del desarrollo profesional, enfocada en el contenido, se ofreció a los docentes para que mejoraran su manejo del contenido del currículo. Se impartió un año después de que los profesores tuvieran la oportunidad de implementar el “*kit*” curricular en el aula.

Desarrollo de liderazgo mediante apoyo administrativo y de la comunidad

En el núcleo del Modelo *LASER* se encuentra el desarrollo de liderazgo, que asegura que la reforma en educación científica sea sistémica, integral y enfocada en una visión de mejoría institucional para construir capacidades locales. Existen tres pasos para que los líderes educativos se involucren en *LASER*:

1. La Reforma para Crear Conciencia en Educación Científica (*BASE*, por sus siglas en inglés)
2. Talleres de Planeación Estratégica (*SPIs*, por sus siglas en inglés)
3. Talleres de Implementación (*Is*, por sus siglas en inglés)

La Reforma para Crear Conciencia en Educación Científica (BASE): al inicio del periodo de la beca, el Centro Smithsoniano para la Educación en Ciencias organizó un evento *BASE* con duración de un día para cada región, adaptado al contexto de la misma. En general, el evento tuvo lugar en una locación proporcionada por la comunidad. Al informar y despertar el interés en diversos líderes sobre la necesidad de una reforma sistémica de la educación científica, el Centro Smithsoniano para la Educación en Ciencias fortaleció a las comunidades locales en cuanto a la transformación de la educación científica. En cada evento *BASE* participaron líderes y representantes de los distritos escolares del estado, líderes a nivel escolar (como directores o directores adjuntos), representantes de los gobiernos estatal y local, así como otros actores involucrados en la aplicación del Modelo *LASER*, como padres de familia, gente de negocios y líderes comunitarios, además de representantes de instituciones de educación superior, de museos y de centros científicos de la comunidad. El propósito de cada evento fue conseguir el apoyo de la comunidad en cada región y lograr que se apropiaran del esfuerzo de transformación. En cada evento *BASE* se lograron cuatro metas:

1. Presentar a los participantes el Centro Smithsoniano para la Educación en Ciencias y el Modelo *LASER*. Poner en contacto a los distintos actores de cada comunidad para lograr un trabajo en común.
2. Mostrar las ventajas de la enseñanza de la ciencia basada en la indagación mediante resultados en investigación pedagógica.
3. Desarrollar la base para una visión conjunta de la educación científica

participativa, activa y basada en la indagación, adecuada a dicha región, así como determinar de manera colectiva los pasos a seguir.

4. Establecer la base para una comunidad regional de profesionales abocados a mejorar la educación para todos los estudiantes.

Talleres de Planeación Estratégica (SPI): también al principio del periodo de la beca, el Centro Smithsonian de Educación Científica brindó a cada estado un Taller de Planeación Estratégica con duración de una semana, para guiar a los equipos de liderazgo en el desarrollo de un plan estratégico de cinco años para transformar la educación científica en su comunidad. Un equipo de liderazgo por parte de cada distrito escolar, con cinco integrantes, participó en el *SPI*. Los equipos estaban conformados por: (1) un líder a nivel estatal, (2) uno o dos miembros del personal administrativo a niveles distrital o escolar, (3) un líder docente y (4) uno o dos representantes de la comunidad.

Los talleres de planeación estratégica se basan en la investigación y en las mejores prácticas para implementar programas científicos participativos y centrados en la indagación, para estudiantes desde Preescolar hasta 12° grado (*K-12*). Se organizó un *SPI* en cada región para ayudarles a planear estratégicamente su visión de ECBI, a identificar sus logros actuales y los programas diseñados para apoyar esa visión, así como a determinar los resultados concretos y el aprovechamiento que esperaban alcanzar durante los cinco años del estudio. La meta de cada *SPI* regional fue asegurar el éxito del nuevo programa ECBI. Se alcanzaron cuatro metas en cada uno de los eventos *SPI*:

1. Explorar la investigación que se ha realizado en cuanto al aprendizaje y la enseñanza de la ciencia, con el fin de conformar una nueva visión conjunta de la educación científica participativa, activa y basada en la indagación.
2. Participar en la simulación de una investigación sobre la manera en que los individuos perciben el cambio y desarrollan estrategias para fomentarlo.
3. Identificar e incorporar los cinco pilares del Modelo *LASER* en un plan estratégico de cinco años, para mejorar los programas de educación científica *K-12*.
4. Intercambiar conocimientos con otros profesionales dedicados a mejorar la educación para todos los estudiantes.

Talleres de Implementación (II): después de participar en el Taller de Planeación Estratégica, muchos equipos de liderazgo regresaron a sus comunidades y descubrieron que algunos aspectos de la implementación de su plan estratégico presentaban un reto particular. En estos casos, el Centro Smithsonian para la Educación en Ciencias brindó Talleres de Implementación como un

seguimiento para apoyar a las comunidades en dicha fase, evaluar el progreso de la implementación, actualizar los planes estratégicos de acuerdo con los nuevos descubrimientos y generar un mayor apoyo en la implementación en las áreas que más lo necesitaran. Se alcanzaron tres metas en cada uno de los Talleres de Implementación:

1. Obtener herramientas para evaluar el progreso de la implementación del plan estratégico.
2. Profundizar en uno o más de los cinco pilares del Modelo *LASER* para enfocarse en retos comunes de implementación.
3. Revisar y actualizar el plan estratégico mediante la integración de estrategias que mantuvieran y estimularan el crecimiento de la educación científica.

A fin de cuentas, el desarrollo de liderazgo tomó varias formas distintas porque se adecuó al contexto de las necesidades de cada región, como se muestra en la Figura 7.

	Carolina del Norte	Distrito Escolar Independiente de Houston	Nuevo México
2011			
Marzo	Encuentro de líderes regionales		
Agosto	Talleres de Planificación Estratégica (Fase 1)		
2012			
Enero		Talleres de Planificación Estratégica (Fase 1)	
Marzo	Encuentro de líderes regionales		
Abril			Reforma para Crear Conciencia en Educación Científica
Junio			Talleres de Planificación Estratégica (Fase 1)
Octubre		Talleres de Implementación (Fase 1)	
2013			
Abril	Encuentro de líderes regionales		
Octubre	Talleres de Implementación (Fase 1)		

2014			
Enero		Talleres de Planificación Estratégica (Fase 2)	
Enero		Talleres de Implementación (Fase 1)	
Marzo	Encuentro de líderes regionales		
Junio			Talleres de Planificación Estratégica (Fase 1 y 2)
Octubre	Talleres de Sustentabilidad (Fase 1 y 2)		
2015			
Febrero		Talleres de Implementación (Fase 1 y 2)	
Marzo			Talleres de Implementación (Fase 1 y 2)
Mayo	Encuentro de líderes regionales		

Figura 7. Plan de desarrollo de liderazgo

Evaluación

El aprovechamiento estudiantil en cuanto a ciencia se evaluó utilizando una prueba llamada Alianza para la Evaluación de la Ciencia Basada en Estándares (PASS, por sus siglas en inglés), desarrollada por *WestEd*. La prueba *PASS* constituye una evaluación válida y confiable de la ciencia basada en estándares para educación básica, media y media-superior. Concuere con los Estándares Científicos Nacionales y con las Bases de Conocimiento Científico, dos conjuntos de estándares “nacionales” que fungían como punto de referencia para la enseñanza en los Estados Unidos de América cuando se inició el estudio (2010). Aunque *PASS* no es una prueba “estandarizada”, mantiene un equilibrio entre varios parámetros de medición, incluyendo la opción múltiple (*multiple-choice, MC*), preguntas abiertas (*open-ended, OE*) y pruebas de desempeño (*hands-on performance tasks, PT*), como se muestra en la Tabla 1 y 2. Se ha utilizado con éxito en 22 estados de la Unión Americana y en Puerto Rico.

Componente de la prueba <i>PASS</i>	Descripción
Reactivos de opción múltiple (<i>MC</i>) o Selección de respuestas (29 reactivos tanto para educación primaria como para educación secundaria)	Evalúan la comprensión de los estudiantes respecto a hechos, conceptos, principios, leyes y teorías científicos importantes.
Preguntas abiertas (<i>OE</i>) y Respuestas elaboradas para la investigación (dos reactivos para educación primaria y seis reactivos para educación secundaria)	Los estudiantes analizan un problema, piensan de manera crítica, realizan un análisis secundario y aplican conocimientos. Construyen explicaciones utilizando evidencia.
Pruebas de desempeño (<i>PT</i>) (seis reactivos tanto para educación primaria como para educación secundaria)	Investigaciones que identifican un problema que debe resolverse. Los estudiantes utilizan equipo para realizar investigaciones; hacen observaciones; generan, organizan y analizan datos; comunican su comprensión; aplican conocimientos.

Tabla 1. Componentes de la prueba *PASS* (fuente: *WestEd*)

	Número de estudiantes	Confiabilidad del puntaje global (<i>alfa de cronbach</i>)	Grado de congruencia entre los evaluadores* (preguntas abiertas y pruebas de desempeño)		
			CR-1	CR-2	PT
5to. grado: aplicado en los grados 3°, 4° y 5°	7,429	.87	.84	.87	.85
8vo. grado: aplicado en los grados 6°, 7° y 8°	7,777	.92	.95	.88	.91

Tabla 2. Confiabilidad del puntaje de la prueba *PASS* y congruencia entre los evaluadores

* El grado de congruencia entre los evaluadores es la correlación entre el primer y el segundo lector para cada respuesta dentro de una tarea.

(Fuente: WestEd referido en Zoblotzky et al 2016)

Todas las escuelas, con excepción de las de educación media del estado de Texas, utilizaron pruebas de opción múltiple *PASS* en otoño de 2011, como una medida de control para asegurar la equivalencia en las escuelas (las escuelas de educación media de Texas aplicaron la prueba en la primavera de 2012, debido a un retraso en la implementación). Los estudiantes que fueron sujetos a un seguimiento longitudinal (n= 9000) contestaron una prueba *PASS* en la primavera de 2014, para evaluar el impacto de *LASER* en su aprendizaje científico.

Preguntas que guiaron la investigación

Queríamos saber si podía confirmarse mediante un análisis que después de tres años de participar en el estudio *LASER i3*, la cohorte de alumnos de 3° grado en escuelas de educación básica que recibieron los cinco pilares del Modelo *LASER* (la Fase 1: “implementación inmediata” o “Condición de tratamiento”), habían conseguido un mejor aprovechamiento estudiantil en el área de ciencias que las escuelas que no recibieron los cinco componentes del Modelo *LASER* (la Fase 2: “implementación tardía” o “Condición de comparación”), de acuerdo con las pruebas *PASS* de opción múltiple, preguntas abiertas y pruebas de desempeño. Se planteó la misma pregunta para la cohorte de alumnos de 6° grado en escuelas de educación media.

También queríamos saber si podía mostrarse mediante un análisis explicativo que después de tres años de participar en el estudio *LASER i3*, había un mejor aprovechamiento por parte de estudiantes aprendices del idioma inglés, estudiantes con necesidades educativas especiales, estudiantes en desventaja económica y mujeres, respecto al mismo tipo de estudiantes en escuelas que no habían recibido los cinco componentes del Modelo *LASER*.

Análisis

Para asegurar una “evidencia fuerte de eficacia”, los evaluadores del *CREP* siguieron los estándares de diseño de *What Works Clearinghouse* (*WWC*, por sus siglas en inglés), que depende del Departamento de Educación de los Estados Unidos de

América. *WWC* consideró que ambos estudios, el realizado en educación básica y el llevado a cabo en educación media, “cumplen de manera absoluta con los estándares de diseño de *WWC*”, el nivel más alto de rigor que puede alcanzar un investigador. El *CREP* fue capaz de lograr esto tomando las siguientes medidas: a) asegurarse de que las escuelas designadas para recibir el Modelo *LASER* fueran elegidas al azar, b) asegurarse de que tanto profesores como estudiantes se mantuvieran involucrados en el estudio a lo largo del tiempo y c) establecer una equivalencia básica para asegurarse de que los grupos escolares fueran los mismos al principio y al final del estudio, tomando en cuenta a los grupos de estudiantes que se incorporaron al estudio después de la selección aleatoria, antes de comenzar la implementación y aquellos grupos que se incorporaron una vez que había comenzado la implementación. Los análisis de datos agregados y de subgrupos incluyeron ANCOVAs con correcciones a nivel grupal respecto a los resultados iniciales.

En todos los resultados que se reportan en este artículo, se utiliza el tamaño del efecto como indicador de impacto de la aplicación del Modelo *LASER* en el aprendizaje de cada estudiante (“significancia práctica” del tratamiento). Un “tamaño del efecto” (calculado como la *g* de Hedges) es una estadística descriptiva que indica la magnitud de la diferencia (expresada en unidades de desviación estándar) entre dos mediciones. Por ejemplo, un tamaño de efecto positivo indicaría una media más alta (es decir, mejor) en los estudiantes de las escuelas elegidas al azar para recibir el Modelo *LASER* respecto a los estudiantes de las escuelas que impartían ciencia de manera tradicional. Sin embargo, un tamaño de efecto negativo habría indicado una media más alta (es decir, mejor) en los estudiantes que aprendían de manera tradicional. De acuerdo con las guías de *WWC*, un tamaño del efecto de +/- 0.25 se considera “sustancialmente importante”, debido a que la diferencia entre las condiciones de tratamiento y de comparación es “lo suficientemente grande como para ser significativa” (*What Works Clearinghouse*, 2014, p 23).

Hallazgos

Todos los resultados estadísticamente significativos se muestran en la Tabla 3, junto con el tamaño de muestra de los grupos (es decir, el número de estudiantes). Debido a que la asignación al azar se llevó a cabo a nivel de escuela (*por* grupos), mientras que los análisis se realizaron a nivel individual (estudiante), se aplicó una corrección de grupo a todos los valores *p* para resultados estadísticamente significativos de los análisis ANCOVA, para calcular los niveles de significancia estadística corregidos por grupo (valores *p*).

Tipo de prueba	Grupo	Tratamiento (Fase 1) n	Control (Fase 2) n	g	p sin corregir	M	ICC	t	t ₀	df	p corregida
Cohorte de primaria (educación básica)											
PASS OE	Todos	1,409	1,176	0.09	0.012	94	0.10	2.278617	1.1744776	2014.564	0.240
PASS OE	ELL	370	247	0.20	0.010	83	0.07	2.434091	2.0241855	596.9861	0.043*
PASS OE	FRL	890	659	0.12	0.012	87	0.08	2.335034	1.5001646	1384.108	0.133
PASS PT	Todos	1,429	1,172	0.09	0.012	94	0.19	2.283769	0.9253471	1332.025	0.354
PASS PT	IEP ¹	132	94	0.39	0.002	72	0.17	2.889757	2.4783267	211.5658	0.013*
PASS PT	ELL	371	238	0.30	<0.001	83	0.32	3.612335	2.0716161	369.8459	0.038*
PASS PT	FRL	895	654	0.14	0.004	87	0.16	2.721465	1.4145159	1086.117	0.157
Cohorte de secundaria (educación media)											
PASS MC	IEP ¹	111	114	-0.28	0.016	16	0.12	-2.09981	-1.2978464	189.7401	0.195
PASS PT	Todos ¹	772	636	0.12	<0.001	22	0.17	2.240872	0.6498379	518.5035	0.516
PASS PT	FRL ¹	465	338	0.27	<0.001	22	0.18	3.777381	1.3750417	381.8819	0.169
PASS PT	Mujeres ¹	405	328	0.23	0.001	22	0.23	3.09628	1.0658156	285.8985	0.287

Tabla 3. Resultados estadísticamente significativos.

¹El subgrupo no cumplió el estándar de deserción grupal *WWC*. Todos los subgrupos mostraron equivalencia base.

* $p < 0.05$ después de la corrección de grupo

Como puede observarse, tres de los resultados explicativos del estudio en educación primaria fueron estadísticamente significativos y tuvieron un valor positivo después de las correcciones por grupos. Los estudiantes aprendices del idioma inglés (*ELL*) de las escuelas que recibieron los cinco pilares del Modelo *LASER*, tuvieron un mejor desempeño que sus pares en la prueba de preguntas abiertas (*OE*), respecto al mismo subgrupo de estudiantes en escuelas que no recibieron los cinco pilares del Modelo ($g=0.20$). También tuvieron un mejor desempeño que sus pares en la prueba de desempeño ($g= 0.30$). Los estudiantes de educación primaria que participaron en el estudio y reciben servicios de educación especial, tuvieron un mejor desempeño que sus pares en la prueba de desempeño ($g= 0.39$). No hubo impactos negativos estadísticamente significativos.

En cuanto al estudio en educación secundaria, los estudiantes de las escuelas *LASER* con desventaja económica (determinado por el hecho de recibir almuerzos gratuitos o de precio reducido, *FRL*) tuvieron mejores resultados que sus pares en la prueba de desempeño ($g= 0.27$). Las mujeres de las escuelas *LASER* obtuvieron mejores resultados que las mujeres de otras escuelas en la prueba de desempeño ($g= 0.23$). Los estudiantes aprendices del idioma inglés de las escuelas *LASER* obtuvieron mejores resultados que sus pares en la prueba de desempeño ($g= 0.37$), al igual que en el estudio realizado en educación básica. Hubo un resultado negativo en el estudio realizado en educación secundaria: los estudiantes con necesidades educativas especiales de escuelas tradicionales tuvieron un mejor desempeño en la prueba de opción múltiple *PASS*, que evalúa la cantidad de conocimientos ($g= -0.28$), que los estudiantes de escuelas *LASER*, pero el resultado no fue significativo estadísticamente significativo.

Además, las encuestas a docentes mostraron que 64.7 % de quienes formaban parte de escuelas *LASER* se sentían “bien preparados” o “muy bien preparados” para enseñar ciencia basada en la indagación, en comparación con sólo 44% de los docentes de las escuelas donde el currículo y el desarrollo profesional se llevaron a cabo de manera tradicional. Los datos también mostraron que los profesores de las escuelas *LASER* dedicaban más tiempo a enseñar ciencia que sus pares.

Observaciones en el aula mostraron que los estudiantes de las escuelas *LASER* colaboraban más entre sí que los estudiantes de las escuelas del grupo control, y que los estudiantes de las escuelas *LASER* trabajaban en equipo para resolver problemas. Ambas habilidades suelen requerirse para trabajar en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (*STEM*, por sus siglas en inglés). Las pruebas de desempeño demostraron que los estudiantes de las escuelas *LASER* eran capaces de aplicar lo aprendido para resolver problemas científicos reales, y que los estudiantes de contextos vulnerables tuvieron un mejor desempeño comparados con los estudiantes de contextos vulnerables de escuelas no *LASER*. Además, al realizar el análisis explicativo de las pruebas estatales en lectura y matemáticas, el *CREP* encontró que el enfoque interdisciplinario utilizado para enseñar ciencia en las escuelas *LASER* conducía a un mejor desempeño en lectura y matemáticas por parte de los estudiantes de educación secundaria en las áreas urbanas de Texas. En otras palabras, el Modelo *LASER* funcionó especialmente bien para los estudiantes de contextos vulnerables (los resultados detallados aparecen en <https://ssec.si.edu/laser-i3>).

DISCUSIÓN

Retos de implementación

Implementar el Modelo *LASER* no carece de retos. Dado que los Estados Unidos de América no tienen un conjunto oficial de “estándares nacionales”, cada estado establece sus propios estándares científicos, los cuales son revisados por el Departamento de Educación de los Estados Unidos de América. Esto significa que los estándares varían de estado a estado. Por lo tanto, no fue fácil lograr que tres estados, con diferentes estándares científicos, se pusieran de acuerdo en el contenido de un único currículo. Además, dichos estándares estatales cambiaron a lo largo del periodo de cinco años durante el cual se realizó el estudio. Al cambiar los estándares, debe cambiar el contenido del currículo. Con la reciente adopción de los Estándares de Ciencias de la Próxima Generación (*NGSS*, por sus siglas en inglés) en toda la nación, es probable que ese problema se resuelva parcialmente.

El espacio para que cada docente pueda almacenar tres unidades del currículo también representó un reto, al igual que la compra y el reemplazo de los

materiales consumibles después de que cada profesor terminara de impartir cada unidad. Por esta razón, el Modelo *LASER* del Centro Smithsonian para la Educación en Ciencias incluye un componente para “materiales de apoyo”, que suele consistir en echar a andar un centro de materiales en cada distrito escolar (como se mencionó arriba, la organización de esos centros varió de acuerdo a los 16 distritos y a los tres estados del estudio *LASER*).

Dado que el Departamento de Educación de los Estados Unidos de América no requiere que los estados reporten los resultados en ciencias, es una materia que se considera “secundaria”. Por lo tanto, muchos docentes no priorizan la enseñanza de la ciencia, y el profesor promedio de educación básica dedica menos de 60 minutos semanales a ella (Traphagen, 2011). En el estudio *LASER i3*, los docentes sintieron que no tenían tiempo suficiente para implementar todas las lecciones de cada unidad del currículo, y les preocupaba que enseñar ciencia les impidiera concentrarse en la enseñanza de la lectura y las matemáticas: las dos asignaturas que se consideran más importantes. Además, hasta diciembre de 2015, cuando el Congreso de los Estados Unidos de América finalmente reformuló el Acto para la Educación Básica y Media (*ESEA*, por sus siglas en inglés) para asegurar una educación más integral, en el país se había priorizado solamente la enseñanza de lectura y matemáticas, según se menciona en “*Que ningún niño se quede atrás*” (“*No Child Left Behind*”), que tomó carácter de ley en 2001. Durante casi 14 años (2001-2015), incluyendo los cinco años que duró el estudio *LASER i3* (2010-2015), fue difícil lograr que los docentes de educación básica le dedicaran un tiempo suficiente a la enseñanza de la ciencia, pues los exámenes estandarizados a nivel nacional de lectura y matemáticas requerían que se invirtiera mucho tiempo y esfuerzo en dichas asignaturas. Por otra parte, los estados que evaluaban la enseñanza de la ciencia a nivel estatal, generalmente lo hacían mediante exámenes enfocados únicamente en conocimientos concretos, sin evaluar las habilidades de pensamiento crítico, de resolución de problemas ni de aprendizaje activo a través de pruebas de desempeño. Entonces suele haber una discrepancia entre las pruebas estatales y la pedagogía científica que promueve la Enseñanza de la Ciencia Basada en la Indagación (ECBI).

El desarrollo profesional (*PD*) obligó al Centro Smithsonian para la Educación en Ciencias a buscar instructores capacitados. Al principio, la mayoría de ellos procedían de otros distritos, pero con el paso del tiempo el mismo *PD* permitió la formación de instructores en todos los distritos escolares. Sin embargo, organizar el *PD* fuera de los horarios normales de trabajo implica varias dificultades y una remuneración adicional para los profesores, mientras que aplicarlo en horario escolar requiere salarios para los profesores suplentes.

Otro problema fueron los docentes y las escuelas que abandonaron el estudio. En particular, las escuelas desertoras fueron muchas en el estudio realizado en educación secundaria. Para mitigar el impacto de la deserción, el Centro Smithsoniano para la Educación en Ciencias desarrolló programas condensados de capacitación y ofertas de desarrollo profesional en línea (como la serie “*Good Thinking!*” y los videos “*Tips and Tricks*”, <https://ssec.si.edu/explore-our-curriculum-resources>), para asegurar que los nuevos profesores tuvieran el desarrollo profesional necesario antes de implementar las unidades del nuevo currículo en el aula. Se consideró que el currículo por sí sólo no sería capaz de modificar sustancialmente el aprendizaje de los estudiantes y que se requería un buen desarrollo profesional para que los docentes tuvieran un conocimiento apropiado del contenido y de la pedagogía que les permitiera implementar las unidades correctamente.

Además, muchas veces fue necesario traducir el contenido del currículo al español para satisfacer las necesidades de los estudiantes aprendices del idioma inglés, que asistían a escuelas *LASER* y recibían material de *STC*. Durante los cinco años que duró la beca, el desarrollo profesional no estuvo enfocado a los profesores de poblaciones con características especiales, como los estudiantes aprendices del idioma inglés.

Los aliados a nivel distrital también enfrentaron retos en la implementación. En algunos casos, hubo reorganización de personal y cambio de funcionarios durante el periodo de cinco años, de manera que no siempre era claro quién tomaba las decisiones ni se sabía si las nuevas autoridades continuarían apoyando el estudio. Otros retos fueron iniciativas alternativas, cambios de directivos, distritos geográficamente dispersos en el estado y modificaciones en las pruebas estandarizadas a nivel estatal.

Sin embargo, muchos de esos retos se vieron mitigados por el hecho de que el Centro Smithsoniano para la Educación en Ciencias tenía una relación previa con algunos de los aliados regionales en los tres estados: el Distrito Escolar Independiente de Houston (*HISD*, por sus siglas en inglés), en Texas; el Centro de Educación en Ciencias, Matemáticas y Tecnología (*SMT Center*, por sus siglas en inglés) de Carolina del Norte y la Fundación del Laboratorio Nacional de los Los Álamos (*LANL*, por sus siglas en inglés) en Nuevo México. Además, muchos de los distritos escolares tenían un claro apoyo de la comunidad antes de que empezara el estudio, habían establecido la necesidad de aplicar ECBI, contaban con centros de materiales previamente establecidos, poseían muchos conocimientos prácticos respecto al panorama educativo de su estado, habían formado acuerdos de cooperación anteriores al estudio, podían asegurar la

sustentabilidad después de terminado el estudio *LASER i3*, mediante apoyo logístico y patrocinadores.

Lecciones aprendidas

Al realizar el estudio aprendimos tres lecciones principales. Para empezar, el apoyo de los aliados a nivel regional fue importante. Por ejemplo, el Distrito Escolar Independiente de Houston, en Texas, desarrolló una guía paso a paso para asegurarse de que todos los docentes supieran el momento adecuado para enseñar cada rama de la ciencia. Por su parte, el Centro de Educación en Ciencias, Matemáticas y Tecnología de Carolina del Norte, patrocinado por *Burroughs Wellcome Fund*, trabajó con los directivos a nivel distrital para aclarar dudas respecto a los estándares. La Fundación *LANL* de Nuevo México organizó las unidades del currículo de acuerdo con otras unidades que ya habían hecho uso del centro de materiales. La segunda lección fue que el apoyo de los coordinadores regionales es clave para tener éxito en la implementación. El Centro Smithsonian para la Educación en Ciencias contrató un coordinador regional para cada región participante en el estudio, para garantizar apoyo en la implementación. La tercera lección es que, para asegurar una implementación exitosa de *LASER*, es necesario hacer lo siguiente:

1. Pedir a los distritos escolares y a los directores de escuela que firmen un memorándum de comprensión (*MOU*, por sus siglas en inglés) al empezar *LASER*, para asegurar que todos los participantes entiendan qué es necesario para una implementación exitosa.
2. Dar incentivos a los docentes para que asistan a las sesiones de desarrollo profesional.
3. Implementar el currículo con fidelidad; impartir todas las lecciones de cada unidad y hacerlo en el orden apropiado.
4. Dar incentivos a los equipos distritales para que asistan a todos los talleres de desarrollo de liderazgo.
5. Asegurar que los distritos proporcionen a tiempo los datos requeridos a quienes evalúan el programa.

En general, aprendimos varias características de un aliado regional ideal, responsable de implementar una reforma sistémica en educación científica utilizando el Modelo *LASER*:

1. Tener relaciones previas en círculos educativos y filantrópicos, incluyendo todos los posibles patrocinadores que puedan permitir el crecimiento futuro (como becas federales, apoyo por parte de los negocios locales, apoyo en especie por parte de desarrolladores de currículos, donaciones particulares y becas de fundaciones).

2. Conocer profundamente el panorama educativo local.
3. Estar de acuerdo en apoyar a los coordinadores regionales trabajando localmente con escuelas y docentes.
4. Promover el trabajo que se implementa en la región.

CONCLUSIONES

El estudio muestra que el Modelo *LASER* fomenta la enseñanza de la ciencia basada en la indagación de manera sistemática, y logra que mejoren las habilidades para resolver problemas, para pensar de manera crítica y para desempeñar actividades de forma interactiva de los estudiantes que generalmente están en contextos vulnerables: aprendices del idioma inglés, quienes tienen serios problemas económicos, mujeres y personas con alguna discapacidad. En otras palabras, “aprender haciendo es un gran recurso para la equidad”.

Los datos cualitativos recopilados en grupos focales con docentes, de entrevistas con personal administrativo y de los estudios de caso, indican que al utilizar estrategias de enseñanza basadas en la indagación, aumenta el interés de los estudiantes por la ciencia y se involucran más en ella. Datos anecdóticos describen estudiantes esperando emocionados la clase de ciencias, protestando si se les asignan otras tareas en ese horario y comentando su aprendizaje científico con sus padres. Las observaciones en el aula apoyan este resultado, y consistentemente se registró que los estudiantes se involucran mucho cuando se utilizan los componentes del Modelo *LASER*.

La evaluación por parte de terceros que se describió en este artículo, muestra que el Modelo *LASER* del Centro Smithsonian para la Educación en Ciencias conduce a un mejor aprovechamiento en el área de ciencias, que puede cuantificarse, por parte de los estudiantes. Esto se logra mediante el uso de una pedagogía basada en la indagación para mejorar la enseñanza en el aula, del desarrollo profesional para los docentes y del sistema de apoyo que resulta en una educación científica excelente, equitativa y orientada a la vida profesional. Dichos resultados se consiguieron al implementar los cinco pilares de excelencia del Modelo *LASER*: 1) un currículo enfocado en la Enseñanza de la Ciencia Basada en la Indagación (ECBI); 2) materiales de apoyo; 3) desarrollo profesional diferenciado; 4) desarrollo de liderazgo a través de un apoyo continuo tanto administrativo como de la comunidad; 5) herramientas de evaluación alineadas con los estándares estatales y nacionales. El Modelo *LASER* proporciona a las escuelas y a los equipos distritales de liderazgo, que cuentan con el apoyo del sistema educativo estatal o de un socio comunitario, las oportunidades para trabajar en conjunto con el fin de crear un programa *STEM* sustentable en su contexto local.

Contacto: Dr. Carol O'Donnell, Director, Smithsonian Science Education Center, 901 D. St., SW Suite 704-B MRC 952, Washington, DC 20024; E-mail: odonnellc@si.edu; Work Phone: 202-633-3004.

REFERENCIAS

Alberg, M. (2015). *The LASER Model: A Systemic and Sustainable Approach for Achieving High Standards in Science Education, Summative Report*. Memphis, TN: The University of Memphis, Center for Research in Educational Policy.

Blank, R. K. (2013). Science instructional time is declining in elementary schools: What are the implications for student achievement and closing the gap? *Science Education*, 97:6, 830-847.

Coy, P. (2016). *The Bloomberg Innovation Index*. Retrieved December 18, 2016: <https://www.bloomberg.com/graphics/2015-innovative-countries/>

Kastberg, D., Chan, J.Y., and Murray, G. (2016). *Performance of U.S. 15-Year-Old Students in Science, Reading, and Mathematics Literacy in an International Context: First Look at PISA 2015 (NCES 2017-048)*. U.S. Department of Education. Washington, DC: National Center for Education Statistics. Retrieved December 18, 2016 from: <http://nces.ed.gov/pubsearch>

NGSS Lead States. (2013). *Next Generation Science Standards: For States, By States*. Washington, DC: The National Academies Press.

Traphagen, K. (2011). *Strengthening Science Education: The Power of More Time To Deepen Inquiry and Engagement*. Washington, DC: National Center on Time & Learning. Retrieved December 18, 2016: http://www.timeandlearning.org/sites/default/files/resources/strengthening_science_education_full_report_.pdf

U.S. Department of Education, Institute of Education Sciences, National Center for Education Statistics, National Assessment of Educational Progress (NAEP). (2015). *Science Assessment*.

U.S. Department of Education, Institute of Education Sciences, National Center for Education Evaluation. (2010). *What Works Clearinghouse: Procedures and Standards Handbook 3.0*. Washington, DC. Retrieved December 18, 2016 from: https://ies.ed.gov/ncee/wwc/Docs/referenceresources/wwc_procedures_v3_0_standards_handbook.pdf

Zoblotsky, T., Bertz, C. Gallagher, B. & Alberg, M. (2016). *The LASER Model: A Systemic and Sustainable Approach for Achieving High Standards in Science Education: SSEC i3 Validation Final Report of Confirmatory and Exploratory Analyses*. Memphis, TN: The University of Memphis, Center for Research in Educational Policy. Summative report prepared for Smithsonian Science Education Center, Washington, DC.

.....
La Enseñanza de la Ciencia en la Educación Básica
Antología sobre Indagación.

Fundamentos y Teorías de la Enseñanza de la Ciencia Basada en la Indagación,

La versión impresa de esta publicación se terminó de imprimir el 23 de enero de 2017
en Comersia Impresiones S.A. de C.V.,

Insurgentes Sur No. 1793 int. 207. Col. Guadalupe Inn. Del. Álvaro Obregón. C.P. 01020. Ciudad de México.

www.comersia.com.mx



Innovación en la Enseñanza de la Ciencia, A.C.

San Francisco 1626 int. 205

Del Valle, 03100

Benito Juárez. Ciudad de México

Tel. (55) 5200 0585

www.innovec.org.mx

ISBN 978-607-96833-7-5