

Trabajando con las Grandes Ideas de la Educación en Ciencias

Editado por Wynne Harlen

Con la colaboración de Derek Bell, Rosa Devés, Hubert Dyasi,
Guillermo Fernández de la Garza, Pierre Léna,
Robin Millar, Michael Reiss, Patricia Rowell y Wei Yu



the global network of science academies

La Red Global de Academias de Ciencia (IAP)

Publicado por el Programa de Educación en Ciencias (SEP) de la IAP

www.interacademies.net/Publications/27786.aspx

IAP - c/o ICTP campus - Strada Costiera, 11 - 34151 - Trieste - Italia

www.interacademies.net

iap@twas.org

ISBN 9788894078435

© Wynne Harlen 2015

Otorgando el debido crédito se podrán hacer copias y traducciones sin necesidad de hacer pagos o solicitar permiso.



INNOVEC

Innovación en la Enseñanza de la Ciencia

Trabajando con las Grandes Ideas de la Educación en Ciencias

Prefacio

Resumen ejecutivo	1
1 Introducción y justificación	3
Introducción	
Justificación	
Desafíos	
Beneficios para los individuos y para la sociedad	
2 Principios	8
3 Reconsiderando las grandes ideas: rango, tamaño e identificación	12
Rango	
Tamaño	
Identificación de las grandes ideas	
4 La progresión en el desarrollo de grandes ideas	20
Las concepciones de la progresión	
Describiendo la progresión hacia las grandes ideas	
5 Trabajando con las grandes ideas en mente	37
Oportunidades para todos los estudiantes	
Contenido del currículo	
Pedagogía	
Evaluación	
Resumen de implicaciones	
6 Implementando las grandes ideas	49
Las grandes ideas en los documentos de los currículos nacionales	
La comprensión del maestro de las grandes ideas	
La evaluación formativa de la enseñanza de las grandes ideas	
Comentario de conclusión	
Perfiles de los participantes en el seminario	59
Referencias bibliográficas	63

Prefacio

En el 2009, un grupo de expertos en educación en ciencias participaron en un seminario internacional que tuvo como propósito la identificación de las ideas clave que los estudiantes deberían abordar en su educación en ciencias, de modo que les permitiesen comprender, disfrutar y maravillarse del mundo natural. El grupo reconoció que el sobresaturado y fragmentado currículo de ciencias constituía uno de varios factores que hacen que los estudiantes perciban la ciencia como una serie de datos inconexos de reducido significado. Parte de la solución a este problema consistió en concebir las metas de la educación en ciencias, no como el conocimiento de un cuerpo de datos y teorías, sino como una progresión hacia la comprensión de ideas clave, las “grandes ideas” de relevancia para las vidas de los estudiantes durante y más allá de la escuela. El seminario y el trabajo subsecuente del grupo resultó en la publicación de *Principios y grandes ideas de la educación en ciencias* que se distribuyó gratuitamente, se tradujo a varios idiomas y despertó interés en todo el mundo.

Cinco años después, los motivos que se identificaron inicialmente para enfocarse en el desarrollo de las grandes ideas de la educación en ciencias continúan vigentes, pero han emergido otras razones que fortalecen aún más su justificación. Se organizó un segundo seminario internacional, al que asistió el mismo grupo de expertos en ciencias, enriquecido por un experto en diseño curricular, para examinar el trabajo anterior. El seminario, realizado en septiembre 2014, fue financiado por una generosa contribución de la Secretaría de Educación Pública de México para las actividades de colaboración internacional de INNOVEC, por aportaciones de las instituciones de algunos de los participantes y de algunos particulares. Todos los participantes desempeñaron roles activos en el seminario de dos días y medio, así como en la posterior revisión y afinación de este documento. Se llevó un registro detallado de las presentaciones y discusiones durante el seminario. Como en la ocasión anterior, la gama de experiencias y los antecedentes culturales de los miembros del grupo habrán de fortalecer en diferentes partes del mundo la relevancia del trabajo a favor de la educación en ciencias.

Por este esfuerzo conjunto se agradece profundamente al grupo de expertos integrado por: Derek Bell, Rosa Devés, Hubert Dyasi, Guillermo Fernández de la Garza, Louise Hayward, Pierre Léna, Robin Millar, Michael Reiss, Patricia Rowell, Wei Yu; y a Juliet Miller (relatora).

Resumen ejecutivo

Esta publicación tiene como propósito actualizar la discusión y las conclusiones acerca de la comprensión esencial en ciencias que todos los estudiantes deben adquirir durante la educación obligatoria. Da seguimiento, cinco años después, a la publicación de *Principios y grandes ideas de la educación en ciencias*¹ (2010) que fue escrito en respuesta a las inquietudes de que a muchos estudiantes no les resultaba interesante su educación en ciencias ni la consideraban relevante para sus vidas. Parte del problema consistía en un currículo sobresaturado que parecía una serie de datos inconexos por aprender. De tal manera que parte de la solución radicó en concebir las metas de la educación en ciencias, no como el conocimiento de un cuerpo de hechos y teorías, sino como una progresión hacia la comprensión de ideas clave y de relevancia en las vidas de los estudiantes, durante y más allá de su paso por la escuela. A éstas se les ha identificado como las “grandes ideas” que deben ser comprendidas por todos los estudiantes, y no solamente por aquellos que continúan estudiando ciencias o que se dedican a ocupaciones de tipo científico después de la escuela, de manera equitativa independientemente de su género, antecedentes culturales o discapacidades.

Principios y grandes ideas de la educación en ciencias, resultó de un seminario internacional de expertos científicos y educadores en ciencias en 2009 e identificó algunos principios guía, diez grandes ideas de la ciencia y cuatro ideas acerca de la ciencia y sus aplicaciones. *Trabajando con las grandes ideas de la educación en ciencias* es el resultado de un seminario posterior y de los trabajos del mismo grupo y viene a complementar el trabajo anterior plasmando con mayor detalle la justificación para trabajar hacia grandes ideas, y las implicaciones de todo esto en el contenido del currículo, la pedagogía, la evaluación de los estudiantes y la formación del maestro.

Además de que siguen siendo importantes los factores relacionados con las percepciones de estudiantes y maestros acerca de la ciencia, los cuales motivaron el trabajo inicial, en estos tiempos de innovación se pueden identificar varios otros factores relativos a los beneficios potenciales para los estudiantes en lo individual, así como relativos a los beneficios para la sociedad. En lo individual, los alumnos se benefician de poder captar los aspectos esenciales de los sucesos o fenómenos en el mundo que los rodea y de esta manera tomar decisiones informadas que afectan su salud y bienestar propios y de otros. La sociedad se beneficia con ciudadanos que toman decisiones informadas en cuanto a temas como el uso de la energía y el cuidado del ambiente.

La educación en ciencias también ha de tomar en cuenta los cambios en el entorno laboral que exigen la capacidad para vincular a la ciencia con la ingeniería, tecnología y matemáticas (STEM, ver nota página 4), la urgente necesidad de atender los problemas principales del mundo como los impactos adversos del cambio climático, las influencias positivas y negativas de la evaluación de los estudiantes, así como la creciente aportación

1 *Principios y grandes ideas de la educación en ciencias*. Editado por Wynne Harlen con las contribuciones de Derek Bell, Rosa Devés, Hubert Dyasi, Guillermo Fernández de la Garza, Pierre Léna, Robin Millar, Michael Reiss, Patricia Rowell y Wei Yu. Publicado por la Association for Science Education, 2010. ISBN 978 0 86357 4 31

de las neurociencias a la comprensión del proceso de aprendizaje. Todo lo anterior se suma a las razones por las que deben desarrollarse grandes ideas que sirvan de marco para las decisiones acerca de la educación en ciencias.

Si bien en los principios subyacentes se reconocen múltiples metas de la educación en ciencias, en este documento el foco se mantiene en la comprensión conceptual junto con el desarrollo de las capacidades y actitudes científicas incorporadas en una pedagogía apropiada, y no en una lista separada de metas. Las grandes ideas *de* la ciencia y *acerca de* la ciencia se expresan en forma de descripciones narrativas de una progresión que fortalece la comprensión de ideas clave a lo largo de varios años, desde el inicio de la escuela primaria hasta el final de la secundaria.

Se considera lo que implica poner en práctica principios y grandes ideas en relación con la selección de contenidos, pedagogía, evaluación del alumno y formación del maestro. En lo que se refiere a la pedagogía sostenemos que la indagación no solamente cumple un papel central en desarrollar la comprensión, sino que la identificación de las grandes ideas en ciencias constituye un complemento necesario para promover la educación en ciencias basada en la indagación. La sección final sobre implementación aborda los requerimientos para producir un cambio en la práctica, incluyendo la manera en que se expresan las ideas en el currículo de ciencias, desarrollando en el maestro la comprensión de las grandes ideas y evaluando la enseñanza de las mismas.

1 Introducción y justificación

Introducción

A cinco años de la publicación de *Principios y grandes ideas de la educación en ciencias* se han presentado cambios rápidos en la educación en lo general y en la educación en ciencias en lo particular. Los estudiantes están utilizando las tecnologías digitales tanto dentro como fuera del aula; se están implementando nuevos marcos para el currículo; las computadoras han servido para ampliar el rango de las evaluaciones y continúa el progreso en entender el proceso del aprendizaje y cómo hacer que éste se produzca.

En el sector laboral los cambios son aún mayores, y presentan implicaciones enormes para la educación, ya que la tecnología ha vuelto innecesarios ciertos tipos de trabajo. Están disminuyendo las oportunidades para la mano de obra de nivel medio mientras que van quedando las ocupaciones que son difíciles de automatizar, que generalmente consisten en trabajos de nivel bajo o alto que requieren de capacidades singularmente humanas. Para muchos y cuando menos por el momento, su capacidad para crear productos nuevos, solucionar problemas y emprender tareas complejas les ayudarán a evitar el desempleo y todas sus consecuencias sociales. La globalización introduce oportunidades, pero también desafíos, particularmente para quienes viven en lugares del mundo que no pueden cambiar con la misma prontitud que los países altamente desarrollados.

Prosperar en esta era moderna de innovación exige saber captar los aspectos esenciales de problemas diversos, reconocer patrones significativos, recuperar y aplicar conocimientos relevantes. La educación en ciencias tiene potencial para ayudar a desarrollar las capacidades y la comprensión para ello, pues se enfoca en desarrollar las ideas centrales de la ciencia, así como las ideas acerca de la naturaleza de la actividad científica y sus aplicaciones. Reconocer lo anterior contribuye a la justificación para reconsiderar las grandes ideas identificadas en 2009, y en particular a lo que dichas ideas implicarán para los cambios que su implementación requiere en la práctica de educación en ciencias.

Por último, los temas globales que enfrenta la humanidad tales como el cambio climático, la salud y el crecimiento poblacional crean la necesidad urgente de que los jóvenes cuenten con una comprensión básica de las ideas científicas relevantes, de temas tecnológicos y éticos, y además con facultades de razonamiento para estar preparados para enfrentar dichos temas.

Ahora revisaremos la justificación o la importancia de identificar grandes ideas y algunos de sus desafíos y beneficios.

Justificación

Hace cinco años identificamos los siguientes motivos para explicitar las ideas fundamentales de lo que deberán ser las metas de la educación en ciencias:

- responder a la percepción que tienen los estudiantes de la ciencia como una colección fragmentada de hechos y teorías de poca relevancia para ellos, construyendo ideas para dar forma a una imagen coherente de cómo funciona el mundo;
- proporcionar una base para las actividades en clase que ayude a los estudiantes a explicar las cosas que les parecen importantes;
- proporcionar una base para hacer una selección de contenido curricular entre una gama enorme de posibilidades;
- guiar de manera informada el desarrollo de marcos curriculares contruidos sobre una progresión hacia las grandes ideas.

Estas razones o motivos siguen siendo aplicables, pero ahora debemos agregar otros que se describen brevemente abajo, aunque más adelante se analizarán mejor. Estas razones surgen en tres sentidos:

- la amplia aceptación de la pedagogía basada en indagación para la educación en ciencias;
- el reconocimiento de la conexión de la ciencia con otras materias STEM² en contextos de la vida diaria;
- una mayor comprensión (proporcionado por la neurociencia) acerca de las condiciones que influyen en el aprendizaje.

La educación en ciencias basada en indagación

En principio, en todo el mundo se está adoptando la pedagogía basada en la indagación, apoyada en la última década por un creciente cuerpo de investigación sobre su eficacia. Aprender ciencias por medio de la indagación implica que a partir de sus ideas existentes, el estudiante desarrolle una comprensión a través de su propia actividad mental y física, para que después de recolectar, analizar e interpretar evidencias, él desarrolle ideas más poderosas y científicas para explicar sucesos o fenómenos nuevos. Esta pedagogía se basa en una perspectiva socioconstructivista del aprendizaje y lleva a los estudiantes a trabajar de maneras similares a las de los científicos, con lo que desarrollan cierta idea de la naturaleza de la actividad científica. Aun cuando no todo el aprendizaje científico puede ni tiene que darse por medio de la indagación, esta última sí desempeña un papel clave en ayudar a los estudiantes a desarrollar su comprensión. Sin embargo, implementar la indagación de una manera efectiva consume tiempo. Por ello han de elegirse los temas y actividades que mejor aprovechen el valioso y limitado tiempo para el aprendizaje. La selección de las ideas clave que presentan mayor utilidad para comprender el mundo que

2 Siglas en inglés de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas, a las que asignamos los significados siguientes:

Ciencia: reúne las ideas acerca del mundo natural (y los procesos que las generaron) avaladas por pruebas empíricas, las cuales se han acumulado con el tiempo.

Tecnología: se refiere a los sistemas, procesos y artefactos producidos por seres humanos para atender sus necesidades o deseos.

Ingeniería: es el proceso sistemático e iterativo, informado por conocimiento científico para el diseño de objetos y sistemas que servirán para solucionar problemas humanos.

Matemáticas: es el estudio sistemático de los patrones y relaciones entre cantidades, números y espacio expresados simbólicamente por medio de números y formas, y avalado por argumentos de lógica.

nos rodea es corolario a la seria adopción de la enseñanza y el aprendizaje basados en la indagación en la educación escolar.

Las conexiones con la vida diaria

Las situaciones en las que se usa la ciencia en la vida cotidiana y que tenderán a captar el interés de muchos estudiantes, a menudo implican combinar la ciencia con otras disciplinas; en particular la ingeniería, la tecnología y las matemáticas. Los cambios en el entorno laboral y en las actividades de investigación requieren cada vez más de equipos multidisciplinarios y transdisciplinarios para abordar una amplia gama de problemas científicos que podrían tener implicaciones para la sociedad. Los contextos y problemas del mundo real, como diseñar sistemas de energía sustentables, la ingeniería biomédica, mantener la biodiversidad en áreas donde existen conflictos entre las necesidades locales y globales, demandan los conocimientos, conceptos y habilidades de varias disciplinas. Todo ciudadano necesita una comprensión general de los temas y sus implicaciones éticas para poder movilizar la voluntad política y solucionar los problemas que presentan. Tales consideraciones generan preguntas sobre cómo asegurar un aprendizaje relevante entre todos los estudiantes, independientemente de que después trabajen en estos esfuerzos o no.

Por tanto, se desprende que parte importante de la formación para el trabajo y la vida consiste en conocer las grandes ideas, comprender cómo se desarrollaron, así como tener la capacidad para identificar las conexiones entre las distintas ideas de la ciencia. La educación que ayuda a los estudiantes a conectar ideas a través y dentro de los dominios de las disciplinas fomenta la creatividad y la innovación. Prepara a los estudiantes para participar en, y no quedar a la merced de, los cambios rápidos en el desempeño laboral y en las comunicaciones utilizando tecnologías desarrolladas a través de la ingeniería y las aplicaciones de la ciencia.

La neurociencia y las investigaciones de la cognición

Los avances en las investigaciones acerca de la actividad del cerebro rápidamente están identificando factores que facilitan un aprendizaje efectivo. Un hallazgo relevante es que las ideas que están conectadas pueden usarse más fácilmente en una situación nueva que las ideas inconexas. Esto sustenta el trabajar hacia unas pocas grandes ideas que permitan la comprensión del mundo y de nuestras experiencias en él, más que abarcar una serie de conocimientos conceptuales desconectados. Elaborar conexiones y reconocer patrones permite a los estudiantes identificar aspectos significativos cuando se hallan frente a situaciones nuevas que quieren entender. Las imágenes del cerebro revelan cómo el captar ideas nuevas viene acompañado de una reacción emocional que demuestra que desarrollar la comprensión produce placer. La pedagogía en la que se aprende en grupos y se observa a aquellos más expertos que nosotros, también se apoya en la identificación de las neuronas espejo. Si bien en ocasiones se hacen afirmaciones extravagantes y carentes de validez acerca de la contribución de la neurociencia a la educación, es muy probable que seguirán produciéndose aportaciones con mejores bases científicas, las cuales podrán aplicarse directamente en el aula, no solamente en la educación en ciencias sino también en otras disciplinas.

Desafíos

Junto con reconocer la sólida justificación para enfocar la enseñanza sobre las grandes ideas, es importante considerar que algunos avances en los años recientes han creado desafíos, incluso obstáculos, para que se produzcan los cambios necesarios que darán a los estudiantes la oportunidad de desarrollar su comprensión. Dos de estos desafíos clave tienen que ver con la evaluación de los alumnos y la formación de los docentes.

La evaluación del estudiante

En muchos países ha habido un incremento constante en la aplicación de exámenes y en el uso de sus resultados con miras a establecer objetivos para los maestros y para las escuelas, con la falsa creencia que esto mejorará el aprendizaje. Las pruebas y los exámenes convencionales presentan una serie de preguntas o problemas inconexos que frecuentemente promueven la enseñanza de conocimientos que no guardan relación entre sí. Tendrá que producirse un cambio fundamental en la manera en que se genera, recolecta y usa la información acerca de lo que pueden hacer los estudiantes, si se ha de apoyar y evaluar eficazmente el avance hacia las grandes ideas. De otra manera, el impacto de la evaluación de lo que se enseña y cómo se enseña constreñirá, incluso sofocará, los intentos por ayudar a los estudiantes a desarrollar habilidades clave y comprensión.

La formación del maestro

Al planificar sus lecciones será importante que los maestros tengan en mente cómo encajan las metas individuales de sus lecciones en el marco más amplio de ideas más poderosas que puedan ayudar a los estudiantes a entender una amplia gama de fenómenos y sucesos relacionados. Al tener en mente este rumbo general los maestros contarán con un marco para dirigir sus observaciones y lo que esperen de las acciones, las preguntas y las pláticas de sus estudiantes. Además, podrán tomar decisiones informadas acerca de la retroalimentación que le den a sus alumnos y cómo adaptarán su enseñanza por medio de la evaluación formativa para apoyar el aprendizaje de los estudiantes. Esto, es particularmente desafiante en el caso de los maestros de escuela primaria y de algunos maestros de secundaria que imparten todas las asignaturas científicas cuando solamente han estudiado una o dos de ellas a fondo. La educación en ciencias de muchos maestros ha carecido de actividades científicas y de la oportunidad de desarrollar las grandes ideas. La formación de los docentes ha de brindar esta experiencia a fin de equiparlos para ayudar a los estudiantes a avanzar hacia la meta de comprender estas ideas.

Beneficios para los individuos y para la sociedad

Superar estos desafíos producirá importantes beneficios para los estudiantes en lo individual, así como para la sociedad. Los beneficios para los estudiantes serán los de cualquier programa de estudio bien diseñado. En el área de las ciencias éstos incluyen la satisfacción de poder encontrarle sentido al mundo y apreciar la naturaleza de la actividad científica y su impacto en nuestras vidas. El beneficio adicional de desarrollar ideas poderosas con amplia aplicación en diversas experiencias provendrá de poder captar las características esenciales, aunque se desconozcan todos los detalles, de los sucesos o fenómenos. Comprender los aspectos del mundo que nos rodea nos ayuda en lo personal a

tomar decisiones que afectan nuestra salud y la forma de disfrutar del entorno, así como la profesión que elegimos. La práctica de hacer preguntas, buscar evidencias y respuestas, compartir puntos de vista con otros, también contribuye a fortalecer la confianza y el respeto por nosotros mismos y por los otros. Es más, la satisfacción de poder distinguir patrones en distintas situaciones y las conexiones entre ellos motiva a aprender durante y después de la educación formal.

La sociedad se beneficia porque los jóvenes desarrollan comprensión de las ideas clave que les permitirán tomar decisiones informadas tanto como estudiantes como más adelante en sus vidas, sobre su nutrición, ejercicio, utilización de la energía y el cuidado del ambiente, entre otros. Además de su impacto en la vida cotidiana, estas ideas tienen implicaciones más amplias en la vida de los estudiantes y las de otros por el impacto a más largo plazo de la actividad humana en el ambiente. Es necesario comprender cómo se usa la ciencia en muchos aspectos de la vida para apreciar su importancia y reconocer la atención que se le debe dar a asegurar que el conocimiento científico se utilice correctamente. Los estudiantes necesitan saber, tanto en la actualidad como históricamente, que la aplicación del conocimiento científico en la ingeniería y tecnología puede ejercer un impacto tanto positivo como negativo en la sociedad. La educación en ciencias tiene un papel único en promover la comprensión y la voluntad para enfrentar los problemas que llevan a la desigualdad en la riqueza, el empleo, la salud y la educación en todo el mundo.

2 Principios

Ciertos principios relacionados con la educación en ciencias se encuentran implícitos en la justificación para enfocarse en las ideas fundamentales de la ciencia. Al manifestarlos explícitamente han quedado claros los valores y los estándares que han guiado nuestra decisión acerca de las grandes ideas y cómo ponerlas en práctica. Luego de haber revisado los principios identificados en *Principios y grandes ideas de la educación en ciencias* no identificamos razones para hacerles algún cambio sustancial. Sin embargo, concluimos que podría resultar útil volver a expresarlos de manera más breve y clara en función de los aspectos particulares de la educación en ciencias.

Principios aplicables a los objetivos de la educación en ciencias

Durante todos los años de educación obligatoria, y por medio de sus programas de educación en ciencias, las escuelas deberán buscar en forma sistemática desarrollar y mantener la curiosidad de los estudiantes acerca del mundo, el gozo por la actividad científica y la comprensión sobre cómo pueden explicarse los fenómenos naturales.

La educación en ciencias debe brindar a todo estudiante por igual las oportunidades que les permitirán participar de manera informada en las decisiones, y emprender las acciones apropiadas en relación con su propio bienestar, el de otros y el del ambiente. La educación en ciencias tendrá por objeto desarrollar:

- la comprensión de una serie de grandes ideas en ciencia que incluyan ideas *de la ciencia* e ideas *acerca de la ciencia* y sus aplicaciones
- las capacidades científicas relacionadas con la obtención y el uso de evidencias
- las actitudes y disposiciones científicas.

La educación en ciencias deberá estimular la curiosidad y la capacidad de asombro y el cuestionamiento del estudiante, contribuyendo a la inclinación natural de buscar el significado y entendimiento del mundo que nos rodea. La indagación científica deberá ser presentada a los estudiantes e interpretada por ellos como una actividad que puede realizar cualquier persona incluyéndolos a ellos mismos. Su experiencia personal de descubrir y hacer conexiones entre experiencias nuevas y previas no sólo debería generar emoción y satisfacción personal, sino la revelación de que pueden aportar a su propio conocimiento por medio de la indagación activa. Tanto el proceso como el producto de la actividad científica puede generar una respuesta emocional positiva que sirva de estímulo para seguir aprendiendo.

A nivel individual, la educación en ciencias debe ayudar a los estudiantes a desarrollar comprensión, habilidades de razonamiento y actitudes que les permitan llevar una vida

saludable y satisfactoria tanto física como emocionalmente. Deberá permitirles hacer elecciones más informadas a nivel individual y de grupo, por ejemplo, en relación a evitar el desperdicio de energía, de otros recursos, la contaminación y las consecuencias de una dieta deficiente, la falta de ejercicio y el uso inadecuado de las drogas.

Por medio de la educación en ciencias, los estudiantes deberán desarrollar comprensión de las grandes ideas acerca de los objetos, fenómenos, materiales y relaciones en el mundo natural. La educación en ciencias también deberá desarrollar grandes ideas acerca de la indagación, el razonamiento y los métodos de trabajo científicos, así como ideas acerca de la relación entre la ciencia, tecnología, sociedad y el ambiente. Aunque las grandes ideas *de* la ciencia (el resultado de la actividad científica) y *acerca de* la ciencia (la manera en que la percibimos y usamos) constituyen el foco principal de esta publicación, las metas de la educación en ciencias también deberán incluir el desarrollo de las capacidades y actitudes científicas.

Principios aplicables a la selección de actividades de aprendizaje

Los programas de estudio deberán establecer una clara progresión hacia las metas de la educación en ciencias, con base en las investigaciones y los conocimientos actuales sobre la manera en que se produce el aprendizaje. La progresión hacia las grandes ideas deberá resultar del estudio de temas que sean de interés y relevancia para las vidas de los estudiantes de todos los contextos y condiciones. La diversidad entre los estudiantes deberá emplearse para mejorar el aprendizaje de todos.

Las actividades de aprendizaje deberán capacitar a los estudiantes para experimentar la ciencia y la indagación científica de acuerdo con el pensamiento científico y educativo de hoy. Deberán profundizar la comprensión de las ideas científicas, teniendo además otros posibles objetivos como estimular actitudes y habilidades.

Los estudiantes llevan a la escuela las ideas que se han formado del mundo, a través de sus acciones, observaciones y pensamientos de sus vidas cotidianas. Estas ideas tienen que ser puntos de partida para desarrollar su comprensión, habilidades y actitudes que constituyen las metas de la educación en ciencias. Los estudiantes de distintos contextos y condiciones deberán tener oportunidades para aprender con actividades que sean de interés para ellos y relevantes a su experiencia.

El avance hacia las metas deberá nutrirse de lo que se sepa sobre la orientación y naturaleza de esa progresión; y particularmente de lo que se espera que los estudiantes sean capaces de saber, comprender, hacer y razonar en diversos momentos de su educación escolar.

A los estudiantes les resulta muy difícil aprender con comprensión a partir de tareas que no son significativas para ellos. Aprenden con mayor eficacia cuando pueden vincular experiencias nuevas con lo que ya saben, y cuando la curiosidad los motiva a responder preguntas. Por lo tanto, las actividades deben permitir a los estudiantes interactuar con objetos y problemas reales. Los programas de enseñanza y aprendizaje han de ser lo

suficientemente flexibles para permitir diversidad de experiencias y en lo que ofrece cada localidad en lo particular. De esta manera podrán utilizarse los intereses y preguntas de los estudiantes como puntos de partida en el trabajo hacia metas en común.

Los estudiantes han de vivir la ciencia con la intención de entenderla, no deben verla como un conjunto de hechos y teorías que han demostrado ser correctos. El conocimiento científico debe presentarse como una serie de explicaciones para los fenómenos naturales que han sido aceptadas en términos generales como la mejor interpretación de las pruebas disponibles. El conocimiento científico debe reconocerse como el resultado de un esfuerzo humano que implica creatividad e imaginación además de una cuidadosa recolección e interpretación de datos.

La evaluación cumple un papel clave en la educación en ciencias y en todos los casos debe mejorar el aprendizaje.

La evaluación formativa del aprendizaje de los estudiantes y la evaluación sumativa de su progreso deberán aplicarse a todas las metas.

Principios aplicables a la evaluación de los estudiantes

La evaluación formativa deberá servir como parte continua de la enseñanza y del aprendizaje para ayudar a los estudiantes a reconocer las metas de una actividad, juzgar el grado al que han logrado las metas y dirigir eficazmente su esfuerzo. La evaluación sumativa, aun cuando está más relacionada con verificar y reportar sobre lo aprendido, deberá realizarse de una manera que apoye el aprendizaje ulterior y evite los efectos negativos tantas veces asociados a los exámenes de alto impacto.

En vista de que se supone que lo que se evalúa e informa refleja lo que es importante aprender, resulta esencial que no se limite a lo que pueda examinarse fácilmente. Deberá utilizarse una batería de métodos para reunir e interpretar evidencias sobre el logro de aprendizaje, para que los estudiantes puedan mostrar lo que son capaces de hacer en relación con toda clase de metas. También ha de reconocerse que por diversos e inevitables motivos (como por ejemplo, solamente poder muestrear el desempeño así como otras desventajas inherentes a los instrumentos de evaluación) es que la evaluación de los resultados del aprendizaje siempre es una aproximación.

Principios aplicables a los maestros y las escuelas

Los programas de estudio para estudiantes, así como la formación inicial y el desarrollo profesional de los maestros deberán ser consistentes con los métodos de enseñanza y de aprendizaje que se requieren para lograr las múltiples metas de la educación en ciencias.

Al trabajar hacia estas metas, los programas de ciencias en las escuelas deben promover la cooperación entre los maestros y el compromiso de la comunidad, incluyendo la participación de los científicos.

La formación de los maestros tanto inicial como continua, debe reconocer que los maestros, cuando toman el rol de estudiantes, necesitan experimentar la actividad y el discurso científicos en su propio nivel. Los cursos deben incluir oportunidades para emprender diferentes clases de indagación científica y después una reflexión sobre las circunstancias y el papel del maestro que apoye el aprendizaje tanto *de* la ciencia, cómo *acerca* de la ciencia.

También han de crearse oportunidades para que los maestros trabajen juntos entre ellos, así como con la comunidad local, y particularmente con la comunidad científica. El reto de mejorar la educación en ciencias exige la cooperación entre educadores y científicos. Los maestros deben tener oportunidades para mejorar su propia comprensión de la ciencia; por ejemplo, por medio del desarrollo profesional continuo con la participación de científicos y compartiendo sus conocimientos entre ellos en conferencias y cursos. A menudo, dentro de las mismas comunidades, quienes participan en las industrias locales o en actividades basadas en ciencia pueden suministrar información acerca de las aplicaciones de la ciencia. Facultar a los estudiantes de ciencias que cursen educación superior, o a los científicos profesionales para que brinden ayuda en línea o visiten las escuelas para trabajar directamente con los estudiantes a fin de complementar su aprendizaje y ayudar a los maestros con sus conocimientos sobre la materia, permite a la comunidad científica aportar al mejoramiento de la educación en ciencias y al mismo tiempo aprender una pedagogía eficaz para la educación en ciencias en todos los niveles.

3 Reconsiderando las grandes ideas: rango, tamaño e identificación

La ciencia es compleja. Con esta complejidad ¿cómo podemos esperar que los estudiantes siquiera comiencen a comprender la vasta gama de ideas, teorías y principios que se considera necesario adquirir para comprender dicha complejidad? Una forma de hacerlo posible consiste en escuchar a quienes son expertos en ciencias explicar el funcionamiento del mundo a los no expertos. Ellos suelen identificar las ideas clave (generalmente muy pocas) para explicar un fenómeno eliminando todos los detalles que distraen. Por ejemplo, un físico puede demostrar cómo dos ideas clave (la segunda ley de Newton y la ley universal de la gravitación) explican cómo los satélites y naves espaciales se mantienen girando en torno al planeta y nos permiten calcular las velocidades necesarias para que mantengan sus órbitas o bajen a la Tierra. Con esto no estamos sugiriendo que las ideas clave puedan enseñarse directamente, ni negando que fortalecer las ideas relevantes implica reunir muchas ideas pequeñas de múltiples experiencias de aprendizaje. No obstante, estamos convencidos de que si aseguramos que estas experiencias de aprendizaje estén vinculadas con las ideas clave, se proporciona la comprensión que todo estudiante necesita para dar sentido a lo que observa en el mundo. Más aún, como se ha mencionado anteriormente, esta comprensión puede habilitarlo para darse cuenta de todo lo que implican las decisiones basadas en la ciencia que afectan su bienestar y el de otros.

El que se alcancen o no estos beneficios potenciales dependerá, por supuesto, de la elección de las ideas que se incluyan. Dos decisiones importantes al respecto se relacionan con:

El rango: si se incluirán actitudes y disposiciones científicas hacia la ciencia, así como lo que suelen llamarse capacidades, prácticas, competencias o habilidades, además de ideas científicas básicas.

El tamaño: la amplitud del rango de fenómenos que deberán explicar dichas ideas, reconociendo que entre más grande la idea, más lejos se hallará de fenómenos particulares y, por tanto, más abstracta parecerá.

Rango

Como ya se ha expresado en los principios aplicables a los objetivos (página 8), la educación en ciencias va más allá de la comprensión conceptual. Además de las ideas que explican lo que ocurre en el mundo, la educación en ciencias tiene otros objetivos, incluyendo el desarrollo de:

- la comprensión de la naturaleza de la ciencia;
- las habilidades necesarias para la actividad científica;
- las actitudes científicas e informadas hacia la ciencia;

- la apreciación de la relación que la ciencia tiene con otras materias o disciplinas, particularmente con la tecnología, ingeniería y matemáticas.

Aun reconociendo que la educación en ciencias debe llevar a estos diversos resultados, nuestra decisión de enfocarnos en las grandes ideas *de* la ciencia y *acerca de* la ciencia surge de nuestra perspectiva de que las ideas cumplen un papel central en todos los aspectos de la educación en ciencias. Desarrollar la comprensión conceptual constituye un factor común a todas las actividades de educación en ciencias. Las habilidades o prácticas para la indagación científica, así como las actitudes y disposiciones científicas se desarrollan realizando actividades cuyos contenidos implican comprensión de la ciencia, pues de otro modo tales actividades no pueden llamarse científicas. Por ejemplo, aun cuando podríamos destacar y reforzar las conductas relativas a la interpretación cautelosa de datos, o lo que se requiere para planear una investigación científica, la actividad también se relacionará con una o más ideas científicas, ya que estos atributos no se desarrollan separadamente del contenido científico. Este argumento no niega el valor de establecer listas de actitudes y habilidades y trabajar explícitamente por lograrlas al tiempo que se desarrolla una comprensión conceptual, pero refleja el principio de que todas las actividades científicas han de profundizar la comprensión de las ideas científicas además de perseguir otros objetivos.

Entender la naturaleza de la ciencia

También queremos que los estudiantes entiendan los procesos de la actividad científica, así como las ideas a las que conduce; es decir, conocer cómo se llegó a las ideas que explican las cosas en el mundo y no solamente en qué consisten. Ciertamente, resulta difícil visualizar la separación del conocimiento sobre la actividad científica, del conocimiento sobre las ideas científicas. Si no se supiera cómo se desarrollaron estas ideas, aprender ciencia requeriría aceptar ciegamente muchas de las ideas acerca del mundo natural que parecerían contradecir el sentido común. En un mundo crecientemente dependiente de las aplicaciones de la ciencia, la gente puede llegar a sentirse impotente si no cuenta con cierta comprensión para poder evaluar la calidad de la información en la que se basan algunas explicaciones. En la ciencia, esta evaluación se refiere a los métodos empleados para recoger, analizar e interpretar información para someter a prueba teorías. Cuestionar la base de las ideas nos permite rechazar aquellas afirmaciones que se basan en evidencias falsas y a reconocer cuando las evidencias se usan selectivamente para apoyar acciones particulares. He aquí el significado clave de usar el conocimiento científico para evaluar evidencia y de esta manera tomar decisiones sobre asuntos tales como el uso de los recursos naturales.

Capacidad para participar en la indagación científica

Participar en la indagación científica capacita a los estudiantes para desarrollar ideas acerca de la ciencia y acerca de la manera en que éstas se desarrollan por medio de la actividad científica. El aspecto fundamental de dicha actividad es que se intenta responder a una pregunta cuya respuesta los estudiantes no conocen o bien, explicar algo que no entienden. Los propios estudiantes podrían proponer las preguntas, pero como no es realista esperar que todos ellos siempre estén trabajando en sus propias preguntas, al maestro le corresponde plantear preguntas en tal forma que sus estudiantes las puedan identificar como propias. Se podrá responder a algunas de estas preguntas con

investigación de primera mano, pero en otras instancias tendrá que obtenerse información de fuentes secundarias. En uno y otro caso lo importante es que se usen evidencias para someter a prueba ideas de manera que la comprensión resultante dependa de las evidencias recolectadas o de su interpretación. Por lo tanto, las habilidades empleadas en la indagación científica tendrán un papel clave en el desarrollo de ideas, y la pedagogía que apoye el desarrollo de las grandes ideas también ha de promover el desarrollo de la competencia y confianza en la indagación. Regresaremos a este tema en la Sección 5.

El contexto STEM

La pregunta sobre la relación entre ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (las materias STEM), surge porque entender las situaciones de la vida cotidiana frecuentemente implica combinaciones de estas disciplinas. De hecho, gran parte de aquello a lo que nos referimos como “ciencia”, se describiría mejor en la vida diaria como tecnología o ingeniería. Una mayor integración de STEM en los programas educativos brindaría oportunidades para establecer una mejor correspondencia entre el proceso de enseñanza y aprendizaje con las prácticas en el lugar de trabajo y los entornos de investigación. Además tendría mayores probabilidades de capturar el interés y participación de los estudiantes. Un argumento adicional a favor de cierto grado de integración surge de las investigaciones cognitivas que sugieren que un conocimiento interconectado se aplica más fácilmente en situaciones nuevas que los elementos de conocimiento aislados. Sin embargo, la poca investigación que existe acerca de los efectos de integrar la ciencia con otras materias sugiere que a nivel escolar puede resultar contraproducente intentar conexiones entre las ideas de cada área cuando éstas todavía no se han aprendido bien. En lugar de tratar de enseñar las materias STEM de forma integrada, las ventajas de reunir las se pueden asegurar mejor coordinando los temas y tópicos relacionados al planificar el currículo.

Tamaño

También surge el tema de hacer conexiones entre dominios en el contexto de responder a la pregunta: ¿de qué “tamaño” han de ser las grandes ideas? Identificamos las grandes ideas de la ciencia como aquellas que pueden usarse para explicar y hacer predicciones sobre un determinado rango de fenómenos relacionados con el mundo natural. Las ideas que explican tienen distintos “tamaños”: para cada idea aplicable a unos cuantos fenómenos, generalmente habrá una mayor, aplicable a una cantidad mayor de fenómenos relacionados, la cual a su vez podrá agregarse a una idea todavía más grande e integral. Por ejemplo, el fenómeno de una sustancia que se disuelve en otra, como el azúcar que se disuelve en agua, en la mente de un niño pequeño se explica como la “desaparición” del azúcar. Pronto esta idea ingenua debe adaptarse para explicar la evidencia de que el azúcar sigue en el agua. Más adelante, la idea se “agranda” para dar cuenta de por qué algunas cosas no se disuelven en el agua, en tanto otras le imparten color, pero de otra manera no se logran ver. Posteriormente, la idea de disolución tendrá que ampliarse aún más para aplicarla a otros líquidos y sólidos, y luego podría ligarse a las explicaciones de otros fenómenos relacionadas con interacciones a nivel molecular.

El proceso de conectar o ligar las ideas para formar otras de mayor tamaño teóricamente podría continuar hasta arribar a una cantidad muy pequeña de conceptos generales, o incluso uno solo que lo explique todo. Necesariamente estas ideas tendrían que ser

sumamente abstractas y alejadas de las experiencias reales, y por tanto, menos útiles para explicar que aquellas ideas con nexos más obvios a sucesos y fenómenos particulares. Esto es porque no se limitan a atravesar las fronteras de diferentes disciplinas como lo que llamaríamos ideas interdisciplinarias, sino que opacan por completo dichas fronteras y por ende se describen mejor como ideas transdisciplinarias. Éstas incluyen nociones como sistema, simetría, causalidad, forma y función y patrón.

Nuestra decisión de posicionar las grandes ideas a nivel interdisciplinario, debajo del nivel de los conceptos generales transdisciplinarios, obedeció a que se consideraron las necesidades de los alumnos y sus maestros. Discutir sobre las ideas transdisciplinarias podría ser apropiado para aquéllos jóvenes de 18 años más capaces pero de otra forma, es más apropiado para los niveles de educación universitaria o superior. Para el estudiante de educación escolar, quien podría o no emprender una carrera científica, parecen más útiles las ideas menos generales y con vínculos más obvios con sus propias experiencias. La educación en ciencias debe encaminarse a ayudar a todos los alumnos a desarrollar precisamente este nivel de grandes ideas sin perder de vista la diferencia entre una declaración de metas y la mejor forma de alcanzarlas. Se puede, por supuesto, bajar el rango hacia unas ideas más “pequeñas”, pero correríamos el riesgo de perder las conexiones que permiten fusionarlas en una idea grande y coherente.

Identificación de las grandes ideas

En principio se ha aceptado ampliamente, e incluso aplaudido, la noción de que la educación en ciencias ha de trabajar por desarrollar grandes ideas. Con objeto de decidir cuáles cambios, de haberlos, requerían las ideas publicadas en *Principios y grandes ideas de la educación en ciencias*, primeramente revisamos los criterios de selección que habíamos empleado. Concluimos que éstos aún aplicaban; es decir, que las grandes ideas deben:

- 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 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 cuanto afecta la visión sobre la condición humana, al reflejar los logros en la historia de la ciencia, la inspiración del estudio de la naturaleza y los impactos de la actividad humana sobre el ambiente.

La retroalimentación sobre la selección de las grandes ideas no ha señalado la necesidad de cambios importantes, sino que ésta ha soportado la prueba de un examen informal de pares. Al mismo tiempo quedó claro que falta mucho antes de que este enfoque se manifieste en la práctica en el aula y en la formación de maestros. Se tiene que prestar mayor atención a cómo trabajar con las grandes ideas en la práctica y sus implicaciones para el contenido de los currículos, la pedagogía y la evaluación de los estudiantes.

En consecuencia, aun cuando reconocemos que podríamos proponer una selección de ideas distinta, nos pareció que no habría beneficio en modificarla precisamente en esta

etapa cuando las ideas apenas están comenzando a usarse. Más aún, si bien en los marcos curriculares recientemente publicados no se presentan las ideas en forma idéntica, sí hay grandes similitudes con los objetivos implícitos en los programas de estudio de muchos países. Por estas razones, luego de haber reexaminado los criterios empleados para seleccionar las ideas y las alternativas, decidimos limitarnos a cambios pequeños en la redacción de las ideas identificadas y confirmamos nuestra anterior selección de diez ideas *de la ciencia* y cuatro ideas *acerca de la ciencia*.

La siguiente lista ofrece resúmenes breves de las ideas que todo estudiante debería tener la oportunidad de aprender antes de concluir su educación obligatoria. En la Sección 4 se encuentran estas mismas ideas expresadas en forma narrativa y más completa describiendo su progresión a lo largo de los grados de escuela.

Las ideas *de la ciencia*

1 Toda la materia en el Universo está compuesta por partículas muy pequeñas

Los átomos son los bloques estructurales con los que se construyen toda la materia viva y no viva. El comportamiento y el arreglo de los átomos explican las propiedades de los distintos materiales. En las reacciones químicas los átomos se reacomodan para formar sustancias nuevas. Cada átomo cuenta con un núcleo que a su vez contiene neutrones y protones rodeados por electrones. Por sus cargas eléctricas opuestas, los protones y electrones se atraen, esto mantiene unidos a los átomos y explica la formación de algunos compuestos.

2 Los objetos pueden afectar a otros objetos a distancia

Todos los objetos tienen un efecto sobre otros aun sin entrar en contacto con ellos. En algunos casos, el efecto viaja desde la fuente hasta el receptor en forma de radiación (por ejemplo, luz visible). En otros casos una acción a distancia se explica por la existencia de un campo de influencia entre los objetos que puede ser magnético, eléctrico o gravitacional. La gravedad es una fuerza universal de atracción entre todos los objetos sin importar su tamaño. Es la que mantiene a los planetas en órbita alrededor del Sol y hace que los objetos terrestres caigan en dirección hacia el centro de Tierra.

3 El cambio de movimiento de un objeto requiere que una fuerza neta actúe sobre él

La acción de una fuerza sobre un objeto no puede observarse directamente, pero se puede detectar por su efecto en el movimiento o forma del objeto. Si éste no se está moviendo significa que las fuerzas actuando sobre él son iguales en magnitud y contrarias en dirección, por lo que se equilibran entre sí. Como la gravedad afecta a todos los objetos en la Tierra, siempre que un cuerpo se encuentra en reposo es porque hay otra fuerza opuesta a la gravedad. Un desequilibrio en las fuerzas puede provocar un cambio en el movimiento en la dirección de la fuerza neta. Cuando las fuerzas opositoras que actúan sobre un objeto no se encuentran en la misma línea, hacen que el objeto gire o se tuerza. Este es el efecto que se usa en algunas máquinas sencillas.

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

Muchos procesos o sucesos implican cambios y se requiere de una fuente de energía para que ocurran. La energía se puede transferir de un cuerpo o grupo de cuerpos a otro de diversas maneras. En estos procesos una parte de la energía se vuelve menos fácil de usar. La energía no se crea ni se destruye. Una vez que liberamos energía quemando un combustible fósil con oxígeno, una parte de esa energía ya no se podrá usar en forma práctica.

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

La radiación del Sol calienta la superficie de la Tierra y provoca corrientes de convección en el aire y los océanos generando los climas. Bajo la superficie, el calor proveniente del interior del planeta provoca movimientos en la roca fundida, lo que a su vez mueve las placas que forman la corteza terrestre generando volcanes y terremotos. La superficie sólida cambia constantemente con la formación y erosión de las rocas.

6 Nuestro Sistema Solar constituye una pequeña parte de una entre miles de millones de galaxias en el universo

Nuestro Sistema Solar está formado por un Sol al que orbitan ocho planetas y otros objetos más pequeños. El día y la noche, así como las estaciones del año se explican por la orientación y rotación de la Tierra en su movimiento alrededor del Sol. El Sistema Solar forma parte de una galaxia de estrellas, gas y polvo; una de las miles de millones que hay en el universo y que están separadas por distancias enormes. Muchas estrellas parecen tener planetas.

7 Los organismos están organizados a partir de células y tienen una vida finita

Todos los organismos están constituidos por una o más células. Los organismos multicelulares tienen células que se diferencian según su función. Las funciones básicas de la vida son el resultado de lo que ocurre dentro de las células que componen un organismo determinado. El crecimiento de un organismo es producto de múltiples divisiones celulares.

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.

Los alimentos proporcionan a los organismos los materiales y la energía necesarios para realizar las funciones básicas de la vida y crecer. Las plantas verdes y algunas bacterias pueden utilizar la energía del Sol para generar moléculas alimenticias complejas. Los animales obtienen energía fragmentando las moléculas alimenticias complejas y dependen de las plantas verdes como fuente de energía. En cualquier ecosistema existe competencia entre las especies por los recursos energéticos y materiales que necesitan para vivir y reproducirse.

9 La información genética se transmite de una generación de organismos a otra

La información genética de una célula se encuentra en la molécula de ADN. Los genes determinan el desarrollo y la estructura de los organismos. En la reproducción asexual todos los genes en la descendencia provienen de un solo progenitor. En la reproducción sexual la mitad de los genes provienen de cada uno de los padres.

10 La diversidad de organismos, tanto vivos como extintos, proviene de la evolución

Toda la vida existente desciende directamente de un ancestro universal común que fue un simple organismo unicelular. A través de un sinnúmero de generaciones, los cambios surgidos de la diversidad natural dentro de una especie determinada condujo a la selección de aquellos individuos más aptos para sobrevivir bajo ciertas condiciones. Las especies que no pudieron responder adecuadamente a los cambios en su entorno se extinguieron.

Las ideas acerca de la ciencia

11 La ciencia busca encontrar la causa o las causas de los fenómenos en el mundo natural

La ciencia es una búsqueda para explicar y comprender los fenómenos del mundo natural. No existe un método científico único para hacerlo; la diversidad de fenómenos naturales exige una diversidad de métodos e instrumentos para generar y comprobar las explicaciones científicas. A menudo, una explicación está dada por los factores que tienen que estar presentes para que se produzca un suceso, según lo demuestran las evidencias obtenidas de observaciones y experimentos. En otros casos las evidencias que sirven de sustento se basan en las correlaciones reveladas por patrones en la observación sistemática.

12. Las explicaciones, teorías y modelos científicos son aquellos que mejor dan cuenta de las evidencias disponibles en un momento dado

Una teoría o modelo científico que represente las relaciones entre las variables de un fenómeno natural deberá ser consistente con las observaciones disponibles hasta ese momento y conducir a predicciones que puedan someterse a prueba. Cualquier teoría o modelo es provisional y estará sujeto a revisión a la luz de nueva información aun cuando haya conducido a predicciones consistentes con datos del pasado.

13. El conocimiento producido por la ciencia se utiliza en ingeniería y tecnologías para crear productos que sirven a propósitos humanos

La aplicación de las ideas científicas a la ingeniería y tecnología ha cambiado considerablemente muchos aspectos de la actividad y el consumo humanos. Los avances en la tecnología permiten que siga avanzando la actividad científica; a su vez, esto aumenta la comprensión acerca del mundo natural. En algunas áreas de la actividad humana, la tecnología se adelanta a las ideas científicas, pero en otras, estas últimas preceden a la tecnología.

14. Las aplicaciones de la ciencia tienen con frecuencia implicaciones éticas, sociales, económicas y políticas

La aplicación del conocimiento científico a las tecnologías hace posibles muchas innovaciones. Determinar si ciertas aplicaciones de la ciencia son o no deseables es algo que no puede abordarse tan solo con conocimiento científico, pues pueden ser necesarios juicios éticos y morales basados en consideraciones tales como la justicia o equidad, la seguridad humana, así como los impactos en las personas y el ambiente.

4 La progresión en el desarrollo de grandes ideas

Desarrollar la comprensión de las grandes ideas en la ciencia es un proceso gradual y progresivo que continúa durante la educación formal y más allá. Comienza con las ideas pequeñas, locales y específicas a un contexto, las cuales se forman al estudiar ciertos fenómenos particulares. Implica pensamiento tanto inductivo como deductivo. Notar los patrones en las observaciones puede provocar preguntas acerca de lo que está ocurriendo pero las respuestas posibles a estas preguntas surgen de hipótesis tomadas de experiencias previas, y a menudo implican un salto creativo para conectar las observaciones anteriores con las nuevas. A medida que los alumnos usan las ideas de un suceso para explicar otro relacionado, sus ideas se vuelven más útiles para producir explicaciones aplicables a varios contextos. A medida que las ideas van dependiendo menos del contexto, se vuelven necesariamente más abstractas.

Para cada estudiante en lo individual hay una progresión que va desde las ideas iniciales específicas y formadas desde sus primeras experiencias, hasta las ideas más poderosas que explican una gama más amplia de fenómenos relacionados. Existe una enorme cantidad de investigación sobre las ideas propias de los estudiantes que muestra que cuando ellos ingresan a la escuela ya se han formado ideas acerca de algunos aspectos del mundo, aunque es poco probable que muchas de esas ideas concuerden con la comprensión científica. El camino hacia las ideas más científicas es diferente para cada persona, ya que depende de las experiencias individuales de cada quien, y del apoyo que se haya tenido para encontrarles sentido. Es importante describir la progresión, la manera en que las ideas típicamente cambian con el tiempo, para informar el desarrollo de currículos, y utilizar la evaluación para promover y registrar el aprendizaje. Todavía más importante, sin embargo, es que los maestros vean el vínculo entre las experiencias de aprendizaje en diversos momentos de la enseñanza y el objetivo general de entender las grandes ideas.

Las concepciones de la progresión

¿Cómo habremos de describir la progresión de las ideas a partir de las que se forman los estudiantes en sus primeros años y traen a la escuela hasta que comprenden las grandes ideas que deseamos que entiendan cuando salgan de la escuela? Encontramos tres modelos principales de progresión de ideas de acuerdo a las distintas maneras en que se plantean los objetivos de aprendizaje en los marcos de los currículos.

El primero, de aplicación común, identifica implícitamente la progresión como el subir una escalera. Esto es, hay que completar cada paso antes de poder dar el siguiente. Todo lo necesario para completar cada paso se plasma como objetivos de aprendizaje. El tamaño del paso varía en cada modelo: puede ser de uno o varios años o por etapas. Este método da la impresión de un desarrollo lineal fijo, en el que la progresión se ve como una serie de etapas separadas, cada una con su propio destino final, pero no necesariamente vinculada a

la comprensión de las grandes ideas en general. En estas circunstancias podría dejar de transmitirse a los estudiantes el propósito y la relevancia de sus experiencias con la ciencia.

El segundo modelo sirve para describir únicamente el punto de destino final, al cual se puede arribar de distintas maneras; algo semejante a armar las piezas de un rompecabezas siguiendo cualquier orden. Las desventajas consisten en que al maestro y a otros desarrolladores de currículos se les da muy poca orientación para definir experiencias de aprendizaje apropiadas.

El tercer modelo divide las metas generales en varios ejes. Las ideas dentro de cada eje se desarrollan gradualmente con el tiempo, a menudo por medio de un currículo espiral. Sin embargo, se corre el riesgo de perder de vista las conexiones entre las ideas de los distintos ejes que las integran todas en ideas mayores.

Cada modelo tiene sus ventajas y desventajas, y quizá se necesite algo de cada uno, ya que la naturaleza y amplitud de las experiencias necesarias para desarrollarlos variarán según las distintas ideas. Por ejemplo, en algunos casos, las ideas propias de los estudiantes los llevarán a ideas diferentes para explicar esencialmente el mismo fenómeno en diferentes contextos. (Esto es, por un lado podrían explicar que la exposición al aire y a la luz solar facilita el secado de la ropa mojada y por el otro, explicar que los charcos en el camino desaparecen porque el agua se filtra por el suelo). La ayuda que necesitan consiste en establecer las conexiones para que vean que en cada uno de estos casos aplica una idea más científica (el rompecabezas). En otros casos, las ideas de los estudiantes se basan en experiencias limitadas ("toda madera flota"), las cuales han de ampliarse para llevarlos a una idea de aplicación más amplia (la espiral). Nuevamente, es muy probable que el razonamiento de los estudiantes sea limitado y que ellos únicamente consideren las evidencias que confirman sus ideas, o que se aferren a una idea, pese a evidencias contrarias, por carecer de una alternativa que les haga sentido y que requiera ser introducida (la escalera).

Describiendo la progresión hacia las grandes ideas

Nuestro método consiste en proporcionar una descripción, una narrativa, de cómo las ideas pequeñas se transforman en las grandes ideas identificadas en la Sección 3. La narrativa completa algunas de las ideas que se forman en el trayecto desde ideas iniciales hasta las ideas más amplias y abstractas que permiten entender los objetos, los fenómenos y las relaciones en el mundo natural (ideas 1-10). Proporcionamos la misma clase de descripción sobre cómo se alcanza esta comprensión en relación a las ideas acerca de la ciencia (ideas 11-14).

Bajo cada título, cuando aplica, comenzamos con las ideas pequeñas y contextualizadas que podrán captar los niños de primaria o escuela básica, por medio de actividades apropiadas y con apoyo. A éstas siguen las ideas que podrán desarrollar los estudiantes en los primeros grados de secundaria, ya que su creciente capacidad para el pensamiento abstracto les permite ver las conexiones entre sucesos o fenómenos. A medida que la exploración del mundo natural se va ampliando en los últimos grados de la educación secundaria, el continuar con esta creación de patrones y vínculos permite a los estudiantes entender las relaciones y los modelos que se pueden usar para entender una gran variedad de experiencias nuevas y previas.

Hemos utilizado una barra lateral para indicar el rango general de ideas apropiadas para las diferentes etapas escolares. Puesto que existe variedad en las maneras en que se describen las etapas de la educación entre países, las hemos rotulado por edades aunque deliberadamente hemos traslapado los rangos, ya que no intentamos identificar límites inamovibles en lo que resulta apropiado para distintas edades. Es importante permitir que haya diversidad en las vías de desarrollo cognitivo de cada estudiante en lo individual. Lo importante es la dirección general del progreso hacia marcos explicativos útiles contruidos sobre una sólida comprensión, en cada etapa. Las ideas desarrolladas en todas las etapas deberían contemplarse como contribuciones a este desarrollo continuo. El objetivo en cada etapa consiste en avanzar un poco más hacia una gran idea, y no intentar forjar un vínculo entre cada actividad y la idea en su forma más sofisticada. El grado de avance de los estudiantes en esta dirección, en todo momento dependerá de muchas variables contextuales, entre ellas principalmente la pedagogía que experimenten, como se discutirá en la Sección 5.

1 Toda materia en el Universo está compuesta por partículas muy pequeñas

Los átomos son los bloques estructurales con los que se construyen toda la materia viva y no viva. El comportamiento y el arreglo de los átomos explican las propiedades de los distintos materiales. En las reacciones químicas los átomos se reacomodan para formar sustancias nuevas. Cada átomo cuenta con un núcleo que a su vez contiene neutrones y protones rodeados por electrones. Por sus cargas eléctricas opuestas, los protones y electrones se atraen, esto mantiene unidos a los átomos y explica la formación de algunos compuestos.

5-7

A todas las “cosas” con las que nos encontramos en la vida cotidiana, como el aire, el agua y las distintas sustancias sólidas, les llamamos materia porque ocupan espacio, tienen masa y, por tanto, peso en la Tierra. Los distintos materiales se reconocen por sus propiedades, algunas de las cuales sirven para clasificarlos según su estado sólido, líquido o gaseoso.

7-11

Cuando algunas sustancias se combinan, forman una o varias sustancias nuevas con propiedades distintas de las originales. Otras sustancias sólo se combinan sin cambiar permanentemente y se les puede volver a separar. A temperatura ambiente, algunas sustancias se hallan en estado sólido, otras en estado líquido y otras en estado gaseoso. Se puede cambiar el estado de muchas sustancias aplicándoles calor o frío. La cantidad de la materia no cambia cuando un sólido se funde, o cuando un líquido se evapora.

11-14

Si pudiera dividirse una sustancia en partes cada vez más pequeñas, encontraríamos que está formada por partículas muy, muy pequeñas, tan pequeñas que no pueden distinguirse incluso con un microscopio. Tales partículas no están en la sustancia, sino que son la sustancia. Todas las partículas de una sustancia dada son las mismas y distintas de las de otras sustancias; no son estáticas sino que se mueven al azar en distintas direcciones. La velocidad con la que se mueven se manifiesta como la temperatura del material. Las diferencias entre las sustancias en estado sólido, líquido o gaseoso pueden explicarse por la velocidad y el rango de movimiento de las partículas, así como por la separación y fuerza de atracción entre las partículas vecinas. A mayor fuerza de atracción entre las partículas, mayor energía se tiene que transferir a la sustancia para separarlas, por ejemplo al pasar del estado sólido a líquido o de líquido a gaseoso. Por esta razón las sustancias tienen distintos puntos de fusión y ebullición.

Todos los materiales, vivos y no vivos, en cualquier parte del universo, están hechos de una cantidad muy grande de “bloques estructurales” llamados átomos de los que existen unas 100 clases diferentes. Las sustancias hechas de una sola clase de átomo se llaman elementos. Los átomos de los distintos elementos se pueden combinar para formar una cantidad muy grande de compuestos. En una reacción química se reacomodan los átomos de las sustancias que reaccionan para formar sustancias nuevas, mientras que la cantidad total de materia permanece igual. Las propiedades de los distintos materiales obedecen al comportamiento de los átomos y de los grupos de átomos de los que están hechos.

14-17

Los propios átomos cuentan con una estructura interna que consiste en un núcleo pesado, hecho de protones y neutrones, rodeados por electrones que son más ligeros. Los electrones y protones tienen carga eléctrica: a la del electrón se le llama carga negativa y a la del protón, positiva. Los átomos son neutros ya que sus cargas se equilibran. Los electrones se mueven rápidamente en la materia generando corrientes eléctricas y causando fuerzas magnéticas. Su efecto neto es una fuerza de atracción que mantiene juntos a átomos y moléculas en los compuestos. Cuando se retiran o agregan algunos electrones, los átomos quedan con una carga positiva o negativa y se llaman iones.

En algunos átomos el núcleo es inestable y podría emitir una partícula. A este proceso se le llama radioactividad. En él se libera radiación y una cantidad de energía muy superior a la de cualquier reacción entre átomos. El comportamiento de la materia al nivel de los núcleos, átomos y moléculas difiere del que se observa al nivel de la experiencia cotidiana.

2 Los objetos pueden afectar a otros objetos a distancia

Todos los objetos tienen un efecto sobre otros aun sin entrar en contacto con ellos. En algunos casos, el efecto viaja desde la fuente hasta el receptor en forma de radiación (por ejemplo, luz visible). En otros casos una acción a distancia se explica por la existencia de un campo de influencia entre los objetos que puede ser magnético, eléctrico o gravitacional. La gravedad es una fuerza universal de atracción entre todos los objetos sin importar su tamaño. Es la que mantiene a los planetas en órbita alrededor del Sol y hace que los objetos terrestres caigan en dirección hacia el centro de Tierra.

7-11 Los objetos pueden tener un efecto sobre otros objetos, aun cuando no entren en contacto con ellos. Por ejemplo la luz, tanto de fuentes cercanas como los focos y las llamas, como de fuentes lejanas como el Sol y otras estrellas sumamente distantes, se puede ver porque afecta a los objetos que alcanza, incluyendo nuestros ojos. Estas fuentes emiten luz que viaja desde éstas en distintas direcciones y nosotros la detectamos cuando llega hasta nuestros ojos. Los objetos que vemos emiten o reflejan la luz que puede detectar el ojo humano. El sonido proviene de las cosas que vibran y puede detectarse a distancia desde su fuente porque el aire u otro material alrededor del objeto vibran con él. Escuchamos los sonidos cuando las vibraciones en el aire entran a nuestros oídos. Otros ejemplos de objetos que afectan a otros objetos sin tocarlos son las interacciones entre imanes o cargas eléctricas y el efecto de la gravedad que hace que caigan las cosas a la Tierra.

11-14 La gravedad es la atracción universal entre todos los objetos, grandes y pequeños, aunque solamente se hace aparente cuando uno de los objetos es muy grande. Esta atracción gravitacional mantiene a los planetas en órbita alrededor del Sol, a la Luna alrededor de la Tierra, y a las demás lunas girando alrededor de sus respectivos planetas. En la Tierra, la gravedad atrae todo hacia el centro del planeta. A esta fuerza de atracción le llamamos el peso de un objeto. Dicho objeto atrae a la Tierra tanto como ésta atrae al objeto, pero como la masa de la Tierra es muy superior, lo que observamos es el movimiento del objeto y no al revés. El efecto de la gravedad sobre un objeto en la Luna es menor que en la Tierra, porque la Luna tiene menor masa que la Tierra. Por lo tanto, una persona en la Luna pesa menos que en la Tierra, aun cuando la masa de la persona no varíe. La atracción de la Tierra sobre la Luna la mantiene en órbita alrededor de la Tierra, mientras que la atracción de la Luna sobre la Tierra provoca las mareas.

14-17 La luz visible es un ejemplo de radiación que se transmite de manera similar a la que se propagan las ondas en el agua. Hay también otras clases de radiación que no son visibles al ojo humano como las ondas de radio, las microondas, los rayos infrarrojos y ultravioletas, los rayos X y la radiación gamma, cada una de ellas con distinta longitud de onda. Todas pueden viajar a través del vacío. Pensar en la radiación como una serie de ondas ayuda a explicar su comportamiento. Aun cuando el sonido se extiende como las ondas, no puede viajar por el vacío ya que requiere de algún material continuo (en estado sólido, líquido o gaseoso) entre la fuente y el receptor para que las vibraciones puedan viajar a través de él.

Cuando la radiación choca con un objeto, éste la refleja, absorbe o dispersa, la deja pasar o puede darse una combinación de estas situaciones. Cuando la refleja un espejo o pasa a través de un material transparente, la radiación permanece igual, pero cuando la absorbe un objeto cambia y provoca un aumento en la temperatura de dicho objeto.

Algunos casos de la acción a distancia no se pueden explicar en términos de radiación desde una fuente a un receptor. Un imán, por ejemplo, puede atraer o repeler a otro imán y ambos cumplen papeles iguales. La atracción y repulsión entre cargas eléctricas, asimismo es recíproca. Pensar en un campo sirve para comprender situaciones como éstas. Un campo es la región de influencia de un objeto. Su fuerza disminuye cuanto más distante el objeto. Cuando otro objeto ingresa a este campo experimenta un efecto: atracción o repulsión. La gravedad, así como las interacciones eléctricas y magnéticas, se pueden describir como campos.

3 El cambio de movimiento de un objeto requiere que una fuerza neta actúe sobre él

La acción de una fuerza sobre un objeto no puede observarse directamente, aunque se puede detectar por su efecto en el movimiento o forma del objeto. Si éste no se está moviendo significa que las fuerzas actuando sobre él son iguales en magnitud y contrarias en dirección, por lo que se equilibran entre sí. Como la gravedad afecta a todos los objetos en la Tierra, siempre que un cuerpo se encuentra en reposo es porque hay otra fuerza opuesta a la gravedad. Un desequilibrio en las fuerzas puede provocar un cambio en el movimiento en la dirección de la fuerza neta. Cuando las fuerzas opuestas que actúan sobre un objeto no se encuentran en la misma línea, hacen que el objeto gire o se tuerza. Este es el efecto que se usa en algunas máquinas sencillas.

5-7

Las fuerzas pueden empujar, jalar o torcer los objetos, haciendo cambiar su forma o movimiento. Las fuerzas actúan en determinados sentidos. Las fuerzas iguales que actúan en sentidos opuestos sobre el mismo plano se cancelan mutuamente y se dice que están en equilibrio. El movimiento de los objetos cambia cuando las fuerzas que actúan sobre ellos no se hallan equilibradas.

7-11

La velocidad de un objeto en movimiento constituye una medida de la distancia que éste viajaría en cierto tiempo. Cuán rápido cambie el movimiento de un objeto dependerá de su masa y de la fuerza que actúa sobre él. Entre mayor sea la masa del objeto, más tiempo tomará acelerarlo o reducir su velocidad. A esta propiedad de la masa se le llama inercia.

11-14

Las fuerzas gravitacionales afectan a todos los objetos en la Tierra. Un objeto permanece en reposo sobre la superficie de la Tierra porque una o más fuerzas actúan sobre él compensando la fuerza de la gravedad. Un libro sobre una mesa no cae porque los átomos en la mesa empujan hacia arriba contra el libro con una fuerza igual a la fuerza descendente de la gravedad. Un objeto que flota en un líquido o en el aire no se mueve porque una fuerza ascendente está equilibrando la fuerza descendente de la gravedad. La fuerza ascendente es igual al peso del líquido desplazado por lo que los objetos pesados pueden flotar si su volumen logra desplazar un peso grande de agua.

14-17

Cuando las fuerzas que actúan sobre un objeto no son iguales y son en sentidos opuestos, el efecto resultante es un cambio en el movimiento del objeto, ya sea acelerándolo o desacelerándolo. A menudo la fuerza en acción no se reconoce como tal y se presupone que un objeto en movimiento, como una pelota que rueda, se desacelera en forma automática, cuando en realidad el movimiento se desacelera gradualmente por la fuerza de la fricción contra lo que lo rodea. En todos los casos, los cambios en movimiento son provocados por las fuerzas en desequilibrio. Cuando no hay una fuerza neta en acción, el movimiento no cambiará: el objeto permanecerá estacionario, o bien si está en movimiento continuará avanzando en línea recta para siempre. El cambio de movimiento ocurre en el sentido de la fuerza neta, el movimiento en ángulo recto no se afecta. Los satélites se mantienen en órbita alrededor de la Tierra porque se les lanza con la fuerza suficiente para llegar a una altura en la que su movimiento sigue una órbita curva alrededor de la Tierra debida a la fuerza de la gravedad que constantemente cambia la dirección del movimiento y donde no hay aire que oponga resistencia y lo desacelere. Cuando las fuerzas opuestas que actúan sobre un objeto sólido no están alineadas, hacen que el objeto gire o se tuerza. El efecto de giro de una fuerza depende de la distancia a la que se encuentre del eje sobre el que gira. A mayor distancia del punto de giro, menor será la fuerza requerida, pero mayor será la distancia que tenga que moverse. Esto tiene muchas aplicaciones en herramientas y máquinas en las que se emplea la acción de una fuerza pequeña a lo largo de una distancia grande para producir una fuerza grande que actúe sobre una distancia pequeña.

La presión constituye una medida de la magnitud de una fuerza que actúa sobre un área en particular. Una fuerza distribuida sobre un área mayor producirá menos presión que cuando se distribuye sobre un área menor. Esta relación tiene muchas aplicaciones: desde el calzado para la nieve hasta las tachuelas. La presión en un fluido (líquido o gas) en un punto en particular depende del peso del fluido arriba de ese punto, de manera que la presión del aire sobre la Tierra disminuye con la altura sobre el suelo, mientras que la presión en un líquido aumenta con la profundidad.

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

Muchos procesos o sucesos implican cambios y se requiere de una fuente de energía para que ocurran. La energía se puede transferir de un cuerpo o grupo de cuerpos a otro de diversas maneras. En estos procesos una parte de la energía se vuelve menos fácil de usar. La energía no se crea ni se destruye. Una vez que liberamos energía quemando un combustible fósil con oxígeno, una parte de esa energía ya no se podrá usar en forma práctica.

5-7

Hay varias maneras de causar un suceso o provocar un cambio en los objetos o materiales. Se puede hacer que los objetos cambien su movimiento empujando o jalándolos. Aplicar calor puede provocar cambios como al cocinar, fundir sólidos o transformar el agua en vapor. La electricidad puede hacer que alumbren los focos. El viento puede hacer girar las aspas de las turbinas eólicas.

7-11

En todos estos cambios, la energía se transfiere de un objeto (una fuente o recurso energético) a otro. Los combustibles como el petróleo, gas, carbón y madera son recursos energéticos. Algunos de estos recursos son renovables, como los producidos por el viento, las olas, la luz del sol y las mareas, mientras que otros son no renovables, como los combustibles fósiles que se queman con oxígeno.

11-14

Los objetos pueden tener energía almacenada (es decir, la capacidad para hacer que cambien las cosas) ya sea por su composición química (como los combustibles y las baterías), su movimiento, su temperatura, su posición en un campo gravitacional u otro tipo de campo, o por la compresión o distorsión de un material elástico. La energía puede ser almacenada elevando un objeto por encima del suelo, ya que cuando éste se libera y cae, la energía almacenada se manifiesta en este movimiento. Un objeto que se calienta tiene más energía que cuando está frío. Un objeto a una temperatura mayor calienta lo que lo rodea o los objetos más fríos con los que entra en contacto hasta que todos quedan a la misma temperatura. La rapidez con la que esto ocurra dependerá de la clase de material que se caliente y de los materiales entre ellos (el grado en que son aislantes o conductores térmicos). Las sustancias químicas en las celdas de una batería almacenan energía que se libera cuando la batería está conectada, de manera que fluye una corriente eléctrica que transfiere energía a los otros componentes del circuito y al ambiente. La energía se puede transferir por radiación, como el sonido por el aire o la luz por el aire o el vacío.

Muchos procesos y fenómenos, desde el desarrollo de las plantas hasta el clima pueden describirse en términos de intercambios de energía. La transferencia de energía que hace que ocurran las cosas casi siempre da lugar a que una parte de ella se comparta más ampliamente calentando los materiales y dispersándose por conducción o radiación. El proceso no puede revertirse y la energía del movimiento aleatorio de las partículas no se puede usar tan fácilmente, por lo que una parte de la energía se disipa.

14-17

La energía no se puede crear ni destruir. Cuando se transfiere de un objeto a otros, la cantidad total de energía en el universo permanece igual: la cantidad de energía que pierde un objeto es igual a la que gana otro. El Sol pierde energía gradualmente por medio de la radiación que calienta a la Tierra y a los otros planetas. La masa de los átomos constituye una forma de energía almacenada llamada energía nuclear. Los átomos radioactivos liberan la energía que se puede aprovechar como calor.

En todo el mundo, la demanda de energía aumenta a medida que crecen las poblaciones y además porque la vida moderna requiere de más energía, sobre todo en forma electricidad. Los combustibles fósiles, frecuentemente empleados en las plantas eléctricas y generadores representan un recurso limitado y su combustión contribuye al calentamiento global y al cambio climático. Por lo tanto han de buscarse otras maneras de generar electricidad, al mismo tiempo hay que reducir la demanda y mejorar la eficiencia de los procesos en los que la utilizamos.

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

La radiación del Sol calienta la superficie de la Tierra y provoca corrientes de convección en el aire y los océanos generando los climas. Bajo la superficie, el calor proveniente del interior del planeta provoca movimientos en la roca fundida, lo que a su vez mueve las placas que forman la corteza terrestre generando volcanes y terremotos. La superficie sólida cambia constantemente con la formación y erosión de las rocas.

5-7

7-11

Hay aire en toda la superficie de la Tierra, pero éste disminuye más y más a medida que nos alejamos de la superficie de la Tierra (más alto en el cielo). Las condiciones y el movimiento del aire determinan el clima.

La temperatura, presión, dirección, velocidad de movimiento y la cantidad de vapor de agua en el aire se combinan para crear el clima. Medir estas propiedades en el tiempo nos permite encontrar patrones que sirven para predecir el clima con un poco de antelación. Los patrones en las condiciones atmosféricas de largo plazo se conocen como el clima de distintas partes del mundo.

Gran parte de la superficie sólida de la Tierra está cubierta de suelo, que es una mezcla de pedazos de rocas de diversos tamaños y los restos de organismos. Los suelos fértiles también contienen aire, agua, algunas sustancias químicas de la descomposición de seres vivos, particularmente plantas, y otros como insectos, gusanos y bacterias. El material sólido bajo el suelo es roca. Hay muchas clases distintas de rocas con composiciones y propiedades diferentes. La acción del viento y el agua desgasta gradualmente las rocas produciendo pedazos más pequeños; la arena consiste en pedazos todavía más pequeños de roca y limo. Aproximadamente dos terceras partes de la superficie de la Tierra están cubiertas de agua que es esencial para la vida. El agua se recicla constantemente a través de procesos que involucran evaporación de los océanos, de otros cuerpos de agua superficiales y del suelo o la transpiración de las plantas para después condensarse en las nubes y luego precipitarse como lluvia, nieve o granizo.

11-14

La capa de aire en la superficie de la Tierra es transparente para la mayor parte de la radiación proveniente del Sol que la atraviesa. La radiación que absorbe la superficie de la Tierra constituye su fuente externa de energía. Desde su formación, la desintegración radioactiva del material dentro de la Tierra es su fuente interna de energía. La radiación del Sol proporciona la energía que permite a las plantas con clorofila elaborar glucosa a través del proceso de la fotosíntesis. La radiación del Sol absorbida por la Tierra calienta la superficie que luego emite radiación de longitud de onda más larga (infrarroja) que no atraviesa la atmósfera sino que es absorbida por la misma manteniendo así el calor en la Tierra. A esto se le llama el efecto de invernadero porque es similar a la manera en que el Sol calienta el interior de un invernadero.

14-17

El oxígeno en la atmósfera producido por las plantas durante la fotosíntesis indirectamente protege a la Tierra de la radiación de onda corta (ultravioleta) que es parte de la radiación solar y muy dañina para muchos organismos. La acción de la radiación ultravioleta sobre el oxígeno en la atmósfera superior produce ozono que absorbe esta radiación dañina. La temperatura en la superficie de la Tierra resulta de un equilibrio delicado que puede perderse si se agregan gases a la atmósfera. Las actividades humanas producen bióxido de carbono y metano los que aumentan el efecto invernadero y conducen al calentamiento del planeta y al cambio climático.

Debajo de la sólida corteza terrestre se encuentra una capa caliente llamada el manto. El manto es sólido bajo presión, pero cuando la presión se reduce, el manto se funde (y se llama magma). En algunos lugares hay grietas o regiones delgadas en la corteza que permiten que salga magma a la superficie. Este por ejemplo, es el caso de las erupciones volcánicas. La corteza terrestre está conformada por varias placas sólidas las cuales se desplazan gradualmente debido a los movimientos del manto subyacente. Cuando las placas colisionan se forman las cadenas montañosas. En los límites de las placas, que se conocen como fallas, pueden producirse terremotos y actividad volcánica. La superficie terrestre cambia lentamente con el tiempo, por un lado las montañas se van erosionando por efectos de la intemperie, pero cuando la corteza se fuerza e impulsa hacia arriba se producen nuevas montañas.

6 Nuestro Sistema Solar constituye una pequeña parte de una entre miles de millones de galaxias en el universo

Nuestro Sistema Solar está formado por un Sol al que orbitan ocho planetas y otros objetos más pequeños. El día y la noche, así como las estaciones del año se explican por la orientación y rotación de la Tierra en su movimiento alrededor del Sol. El Sistema Solar forma parte de una galaxia de estrellas, gas y polvo; una de las miles de millones que hay en el universo y que están separadas por distancias enormes. Muchas estrellas parecen tener planetas.

5-7

Existen patrones en la posición del Sol que se observan a distintas horas del día, y en la forma de la Luna que se observan noche a noche.

7-11

La Tierra se mueve alrededor del Sol y le toma aproximadamente un año completar una órbita. La Luna orbita a la Tierra y le toma unas cuatro semanas completar una órbita. El Sol, en el centro del Sistema Solar, es su única fuente de luz visible. La Luna refleja la luz del Sol. En su curso alrededor de la Tierra únicamente se le ven las partes iluminadas por el Sol. La Tierra gira sobre un eje de norte a sur y este movimiento hace que parezca que el Sol, la Luna y las estrellas orbitan alrededor de la Tierra. Esta rotación es la causa del día y la noche, a medida que partes de la superficie terrestre van quedando frente o alejadas del Sol. A la Tierra le toma un año girar una vez alrededor del Sol. El eje terráqueo está inclinado con respecto a su plano de órbita alrededor del Sol. Por ello la duración del día varía conforme a la posición de la superficie de la Tierra y la época del año. Esta inclinación en el eje terrestre da lugar a las estaciones.

11-14

La Tierra es uno de los ocho planetas (conocidos hasta ahora) en nuestro Sistema Solar, los que junto con muchos otros cuerpos más pequeños orbitan alrededor del Sol siguiendo patrones más o menos circulares a diferentes distancias del Sol, por lo que tardan períodos distintos para completar una órbita. Las distancias entre cada uno de estos cuerpos son enormes: Neptuno se halla a 4,500 millones de km del Sol, 30 veces más lejos que la Tierra. Vistos desde la Tierra, los planetas se mueven en relación con las posiciones de las estrellas que parecen fijas una relativa a otra. Se puede explorar el Sistema Solar por medio de misiones robóticas, o a distancias menos alejadas de la Tierra, en misiones tripuladas por seres humanos.

14-17

De vez en cuando en su órbita alrededor del Sol un pedazo enorme de roca se acerca lo suficiente a la Tierra para que ésta lo jale a su campo gravitacional haciendo que la roca viaje aceleradamente a través de la atmósfera donde la fricción del aire contra su superficie la calienta y hace fulgurar, volviéndola visible como una "estrella fugaz". Un meteoro es una roca que ya se ha quemado al ingresar a la atmósfera, pero la parte que llega a la superficie de la Tierra se convierte en un meteorito. Fuera de esto, la mayoría de los movimientos de los objetos en el Sistema Solar son regulares y predecibles. Las mismas leyes científicas, generalizaciones acerca del comportamiento de las cosas, que se aplican a la Tierra también pueden aplicarse al universo. De la exploración espacial se han obtenido evidencias de que han ocurrido cambios en las superficies de los planetas después de que se formaron. Hasta ahora no se ha descubierto vida fuera de la Tierra.

Nuestro Sol, esencialmente hecho de hidrógeno, es una de las muchas estrellas que forman el universo. La energía que irradian el Sol y todas las estrellas se genera a partir de las reacciones nucleares en sus centros. El Sol representa una de las millones de estrellas que integran una galaxia llamada la Vía Láctea. La estrella más próxima se encuentra mucho más lejos que nuestro planeta más lejano, que es Neptuno. Las distancias entre y dentro de las galaxias son tan enormes que se miden en "años luz"; esto es, la distancia que puede viajar la luz en un año. Existen miles de millones de galaxias en el universo, separadas por distancias inimaginables y se percibe que se están alejando una de otra rápidamente. Este movimiento aparente de las galaxias indica que el universo se expande desde un acontecimiento llamado el "big bang", ocurrido hace unos 13,700 millones de años.

7 Los organismos están organizados a partir de células y tienen una vida finita

Todos los organismos están constituidos por una o más células. Los organismos multicelulares tienen células que se diferencian según su función. Las funciones básicas de la vida son el resultado de lo que ocurre dentro de las células que componen un organismo determinado. El crecimiento de un organismo es producto de múltiples divisiones celulares.

5-7

7-11

11-14

Existe una amplia variedad de seres vivos (organismos) que incluyen a las plantas y los animales. Se distinguen de lo no vivo por su capacidad para moverse, reproducirse y reaccionar a ciertos estímulos. Para sobrevivir necesitan agua, aire, alimento, una manera de eliminar los desechos y un entorno que se mantenga dentro de un rango particular de temperatura. Si bien algunos seres vivos no parecen activos, en algún momento todos ellos realizan los procesos vitales de respirar, reproducirse, alimentarse, excretar, crecer y desarrollarse. Y todos, finalmente morirán.

Todos los organismos vivos están hechos de una o más células que solamente pueden verse a través de un microscopio. Todos los procesos básicos de la vida resultan de lo que ocurre dentro de las células. Éstas se dividen para remplazar a las células que envejecen y para generar más células durante el desarrollo y la reproducción. El alimento es la fuente de energía que necesitan para poder realizar éstas y otras funciones. Algunas células de los organismos multicelulares además de realizar las funciones comunes que llevan a cabo todas las células, realizan funciones especializadas. Por ejemplo, las células de los músculos, sangre y nervios realizan funciones específicas en el organismo.

A menudo, las células se agregan formando tejidos; éstos, formando órganos; y éstos a su vez, sistemas de órganos. En el cuerpo humano dichos sistemas o aparatos llevan a cabo funciones cruciales como la respiración, digestión, eliminación de desechos y control de la temperatura. El aparato circulatorio lleva los materiales que necesitan las células a todas las partes del cuerpo y transportan los desechos solubles hasta el aparato urinario. Las células madre, que no son especializadas, son capaces de reparar tejidos porque están programadas para distintas funciones. Las células funcionan mejor bajo ciertas condiciones. Tanto los organismos unicelulares como los multicelulares cuentan con mecanismos para mantener la temperatura y acidez dentro de ciertos límites que les permiten sobrevivir.

14-17

Dentro de las células existen muchas moléculas de distintas clases que interactúan para llevar a cabo las funciones en la célula. En los organismos multicelulares, las células se comunican entre sí transfiriendo sustancias entre ellas para coordinar su actividad. La membrana alrededor de cada célula desempeña un papel importante al regular lo que puede entrar o salir de la misma, en tanto las enzimas regulan las actividades de las distintas clases de células. Las hormonas que liberan los tejidos y órganos especializados regulan la actividad de otros órganos y tejidos y afectan las funciones generales del organismo. En los humanos, la sangre transporta a la mayoría de las hormonas. Muchas medicinas actúan acelerando o desacelerando los mecanismos reguladores de las enzimas o de las hormonas. El cerebro y la médula espinal también contribuyen en la regulación de la actividad celular enviando mensajes en forma de señales eléctricas que viajan rápidamente a través de las células nerviosas.

Cuando se encuentran en un medio propicio, las células de una variedad de organismos que pueden cultivarse *in situ*; es decir, fuera del organismo. Los científicos utilizan estos cultivos celulares en la investigación de sus funciones para efectos médicos como la producción de vacunas, la identificación de fármacos y la fertilización *in vitro*. Los cultivos de tejidos vegetales se usan ampliamente en las ciencias relacionadas con las plantas, la silvicultura y horticultura.

La mayoría de las células están programadas para dividirse un número limitado de veces. Las enfermedades, a veces provocadas por microorganismos invasores, condiciones ambientales o programación celular defectuosa, generalmente resultan en la perturbación de las funciones celulares. Por lo general, los organismos mueren cuando sus células ya no pueden seguir dividiéndose.

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

Los alimentos proporcionan a los organismos los materiales y la energía necesarios para realizar las funciones básicas de la vida y crecer. Las plantas verdes y algunas bacterias pueden utilizar la energía del Sol para generar moléculas alimenticias complejas. Los animales obtienen energía fragmentando las moléculas alimenticias complejas y dependen de las plantas verdes como fuente de energía. En cualquier ecosistema existe competencia entre las especies por los recursos energéticos y materiales que necesitan para vivir y reproducirse.

5-7
7-11
Todos los seres vivos necesitan alimento como fuente de energía además del aire, agua y ciertas condiciones de temperatura. Las plantas que contienen clorofila pueden usar la luz del sol para elaborar los alimentos que necesitan y almacenar lo que no usen inmediatamente. Los animales necesitan alimentos que puedan degradar y que obtienen directamente consumiendo plantas (herbívoros) o consumiendo otros animales (carnívoros) que a su vez han ingerido plantas u otros animales. A final de cuentas, los animales dependen de las plantas para sobrevivir. Las relaciones entre los organismos se pueden representar como cadenas alimentarias y redes tróficas.

Además de consumirlas como alimento, algunos animales dependen de las plantas para otras cosas. Por ejemplo, para refugio y, en el caso de los humanos, vestido y combustible. Las plantas a su vez, dependen de los animales de diversas maneras. Por ejemplo, muchas plantas que florecen dependen de los insectos para polinizarse y de otros animales para dispersar sus semillas.

11-14
Los organismos interdependientes que viven juntos en un ambiente con condiciones particulares forman un ecosistema. En un ecosistema estable se encuentran los productores de alimento (las plantas), los consumidores (los animales) y los descomponedores (las bacterias y hongos que se alimentan de los productos de desecho y de los organismos muertos). Los descomponedores producen materiales que ayudan a las plantas a crecer, de manera que se reutilizan las moléculas de los organismos constantemente. Al mismo tiempo, los recursos energéticos pasan a través del ecosistema. Cuando los organismos usan los alimentos para sus procesos de vida se disipa algo de energía en forma de calor, pero la reemplaza la radiación solar en el ecosistema que sirve para producir alimento vegetal.

En todo ecosistema existe competencia entre las especies por los recursos energéticos y los materiales necesarios para vivir. La persistencia de un ecosistema dependerá de que estos recursos energéticos y materiales estén continuamente disponibles. Las especies vegetales cuentan con adaptaciones para obtener el agua, luz, minerales y el espacio que necesitan para crecer y reproducirse en lugares caracterizados por sus condiciones climáticas, geológicas e hidrológicas. Si estas condiciones varían, las poblaciones vegetales pueden cambiar dando como resultado a su vez un cambio en las poblaciones animales.

14-17
La actividad humana que controla el crecimiento de ciertas plantas y animales cambia al ecosistema. La silvicultura que favorece el desarrollo de ciertos árboles sobre otros, elimina el alimento vegetal de ciertos animales reduciendo la diversidad de especies dependientes de estas plantas y de otros organismos en la cadena alimentaria. La agricultura moderna está diseñada para reducir la biodiversidad al crear condiciones apropiadas para ciertos animales y plantas con objeto de alimentar a la población humana. El uso extendido de pesticidas para preservar una clase de cultivo tiene efectos amplios sobre los insectos polinizadores de los que dependen muchas otras plantas. La actividad humana de esta clase crea un ecosistema simple y no natural que limita la biodiversidad dando lugar a la pérdida de paisajes y vida silvestre de valor cultural.

9 La información genética se transmite de una generación de organismos a otra

La información genética de una célula se encuentra en la molécula de ADN. Los genes determinan el desarrollo y la estructura de los organismos. En la reproducción asexual todos los genes en la descendencia provienen de un solo progenitor. En la reproducción sexual la mitad de los genes provienen de cada uno de los padres.

5-7

7-11

11-14

Los seres vivos producen descendientes del mismo tipo, en muchos casos esa descendencia no es idéntica entre sí ni tampoco idéntica a sus padres. Las plantas y los animales, incluyendo los humanos, se parecen a sus padres en muchas de sus características porque la información se transmite de una generación a la siguiente. Otras características, como las habilidades y el comportamiento, no se transmiten por herencia y deben ser aprendidas.

Dentro del núcleo de las células animales y vegetales hay estructuras llamadas cromosomas que guardan moléculas grandes y complejas de ADN. Cuando las células se dividen, la información necesaria para elaborar más células se encuentra en forma de código el cual indica la manera en la que se han de armar las partes de la molécula de ADN. Un gen constituye un segmento de ADN y un solo cromosoma porta cientos o miles de genes. En el cuerpo humano la mayoría de las células contienen 23 pares de cromosomas con un total de aproximadamente veinte mil genes.

Cuando se divide la célula, en el proceso de crecimiento o sustitución de células muertas se copia la información genética de modo que cada célula nueva lleva una réplica de la célula progenitora. En ocasiones ocurre un error durante la replicación causando una mutación, que puede o no dañar un organismo. Los cambios en los genes pueden deberse a condiciones ambientales como la exposición a ciertos tipos de radiación o a ciertas sustancias químicas. Estos cambios pueden afectar al individuo, y si ocurren en las células del espermatozoide u óvulo pueden afectar a su descendencia.

En la reproducción sexual un espermatozoide del macho se une a un óvulo o célula de la hembra. El espermatozoide y el óvulo son células especializadas, cada una de las cuales contiene una de las dos versiones, seleccionadas al azar, de cada gen que porta cada uno de los padres. Al unirse espermatozoide y óvulo, la mitad del material genético del óvulo fertilizado proviene del propio óvulo y la otra, del espermatozoide. A medida que el óvulo fertilizado se divide una y otra vez, se va duplicando este material genético en cada célula nueva. La clasificación y recombinación del material genético cuando se forman y fusionan el óvulo y el espermatozoide resulta en una variedad inmensa de posibles combinaciones de genes, y de diferencias que se pueden heredar de una generación a otra. Ello provee el potencial para la selección natural ya que como resultado de esta variabilidad, algunos organismos se encuentran mejor adaptados que otros a ciertas condiciones ambientales.

14-17

La reproducción asexual, que ocurre naturalmente en una variedad amplia de organismos incluyendo algunas bacterias, insectos y plantas, produce poblaciones con material genético idéntico. La biotecnología, por medio del clonado artificial, ha hecho posible producir organismos genéticamente idénticos de diversas especies incluyendo a los mamíferos.

La secuencia general de los genes de un organismo se conoce como su genoma. A través del mapeo de los genomas de diferentes tipos de organismos cada vez se aprende más sobre la información genética. Una vez conocidas las secuencias de genes, se puede cambiar artificialmente el material genético para otorgar ciertas características a los organismos. En la terapia génica se usan técnicas especiales para incorporar genes a las células humanas que están comenzando a contribuir a la cura de algunas enfermedades.

10 La diversidad de los organismos, tanto vivos como extintos proviene de la evolución

Toda la vida existente desciende directamente de un ancestro universal común que fue un simple organismo unicelular. A través de un sinnúmero de generaciones, los cambios surgidos de la diversidad natural dentro de una especie determinada condujo a la selección de aquellos individuos más aptos para sobrevivir bajo ciertas condiciones. Las especies que no pudieron responder adecuadamente a los cambios en su entorno se extinguieron.

5-7

7-11

Existen muchas clases diferentes de plantas y animales en el mundo hoy en día y muchos que vivieron alguna vez, ahora están extintos. Sabemos de su existencia por los fósiles. Los animales y las plantas se clasifican en grupos y subgrupos de acuerdo con sus similitudes. Por ejemplo, dentro del grupo de animales llamados aves, hay diferentes familias como la del gorrión y dentro de esa familia hay diferentes tipos (especies), como el gorrión común, el gorrión castaño y el gorrión grande. Los organismos de una misma especie reproducen más organismos de dicha especie. Las especies distintas no se pueden cruzar para producir descendientes capaces de reproducirse. Aun cuando los organismos de la misma especie son muy similares, tienen pequeñas variaciones entre un individuo y otro. Uno de los resultados de la reproducción sexual es que las crías nunca son exactamente iguales a sus padres.

11-14

Los seres vivos se hallan en ciertos ambientes porque cuentan con características que les permiten sobrevivir ahí. Esta adaptación a su entorno se produjo a través de las pequeñas diferencias que ocurren durante la reproducción, las cuales dan lugar a que algunos individuos sean más aptos para su ambiente que otros. En la competencia por recursos materiales y energéticos, los mejor adaptados tienen mayores probabilidades de sobrevivir y de pasar su característica adaptada a su descendencia. Los menos adaptados a un ambiente en particular son más propensos a morir antes de reproducirse. Así pues, las generaciones posteriores incluirán a un mayor número de los individuos mejor adaptados. Esto sólo aplica cuando los cambios (mutaciones) se presentan en las células reproductivas, ya que las mutaciones en otras células no se transmiten. Con el paso del tiempo estos cambios pueden acumularse hasta el grado en el que los sobrevivientes llegan a ser una especie diferente.

La selección natural de los organismos con ciertas características que les permiten sobrevivir en condiciones ambientales particulares se ha producido desde que apareció la primera forma de vida en la Tierra hace unos 3,500 millones de años. Los organismos unicelulares surgieron en etapas iniciales en la historia de la vida. Hace unos 2,000 millones de años algunos de ellos evolucionaron en organismos multicelulares que eventualmente dieron lugar a los grandes animales, plantas y hongos de nuestros días. Otras formas de vida, mientras tanto, se mantuvieron unicelulares.

14-17

Cuando ocurren cambios climáticos, geológicos o poblacionales, el beneficio de una determinada característica heredada se puede pronunciar o disminuir. El proceso de adaptación que ocurre lenta y naturalmente, se acelera con la intervención humana a través de la selección y cruce de animales o plantas con características convenientes para ciertas funciones o ambientes.

La actividad humana puede cambiar el ambiente más rápidamente de lo que pueden responder los organismos adaptándose. La contaminación del agua, aire y suelo así como la agricultura intensiva pueden imponer efectos de largo alcance sobre el ambiente, y ya ha provocado cambios dañinos para muchos organismos. La tasa actual de extinción a consecuencia de la actividad humana es cientos de veces superior a la que existiría si no hubiera población humana. Es importante mantener la diversidad de especies y la diversidad dentro de las especies. Una reducción en la diversidad de la vida puede provocar una degradación significativa del ecosistema y la pérdida de la capacidad para responder a cambios en el ambiente.

La evolución de la vida en la Tierra apenas constituye un aspecto limitado de lo que se llama la "evolución cósmica" que se refiere a los cambios graduales en las condiciones físicas y químicas de las galaxias, tales como la aparición del átomo de carbono que derivó en condiciones favorables para la existencia de la vida, cuando menos en la Tierra.

11 La ciencia trata de encontrar la causa o causas de los fenómenos en el mundo natural

La ciencia es una búsqueda para explicar y comprender los fenómenos del mundo natural. No existe un método científico único para hacerlo; la diversidad de fenómenos naturales exige una diversidad de métodos e instrumentos para generar y comprobar las explicaciones científicas. A menudo, una explicación está dada por los factores que tienen que estar presentes para que se produzca un suceso, según lo demuestran las evidencias obtenidas de observaciones y experimentos. En otros casos las evidencias que sirven de sustento se basan en las correlaciones reveladas por patrones en la observación sistemática.

7-11 La ciencia es una búsqueda de explicaciones sobre por qué las cosas ocurren de una determinada manera, o por qué toman una forma en particular, asumiendo que cada evento o fenómeno tiene una o más causas y que existe una razón que explica porque las cosas son de cierta forma. Una explicación no es una adivinanza; tiene que existir una razón para sustentarla. Hay varias maneras de descubrir qué hace que las cosas funcionen y por qué ocurren. La observación cuidadosa, incluyendo las mediciones cuando ello sea posible, puede sugerir qué está sucediendo. En otros casos se puede hacer algo para provocar algún cambio y luego observar lo que sucede. En este caso, será importante mantener los otros factores iguales para que el resultado se produzca por cambiar solamente un factor.

11-14 Las observaciones cuidadosas y sistemáticas, así como las descripciones precisas de lo observado son fundamentales para la investigación científica. Lo que la gente espera que ocurra puede influir sobre lo que observan, de manera que una buena práctica consiste en que varias personas independientemente hagan sus observaciones y que los resultados se reporten con la suficiente claridad para que puedan ser revisados por otros.

Las diversas clases de fenómenos naturales se pueden explicar de maneras distintas. En algunos casos, una explicación posible (hipótesis) indica el factor variable que se cree causa un fenómeno. Una hipótesis se somete a prueba usándola para predecir lo que sucederá cuando se cambie la variable identificada como la causa posible y luego observando si lo que sucede corresponde con la predicción. Si el resultado concuerda con la predicción y se determina que ningún otro cambio de variable produce el mismo resultado, entonces se acepta que dicho factor es la causa que explica la observación.

14-17 Cuando los factores no se pueden manipular experimentalmente, como en el caso del movimiento de los planetas del Sistema Solar, se puede investigar un fenómeno observándolo sistemáticamente en varias ocasiones y durante un determinado tiempo. La búsqueda de patrones en la información podría revelar una correlación entre los factores; esto es, al cambiar un factor, otro también cambia en forma regular. Se puede utilizar una correlación para proponer una hipótesis, que a su vez servirá para hacer predicciones, aun cuando implique aspectos que no puedan observarse o cambiarse directamente. Sin embargo, generalmente una correlación no se puede tomar como evidencia concluyente de que el cambio en un factor cause el cambio en otro, porque podría haber un tercer factor (hasta el momento no identificado) que esté provocando ambos cambios. Además, encontrar que algo es la causa de un efecto no es lo mismo que explicar el mecanismo que ha dado lugar a ese efecto. Esto último requiere de un modelo de las relaciones basado en principios científicos.

Los fenómenos que ocurrieron en el pasado, como los cambios en las rocas o la evolución de las especies, también se pueden someter al proceso de prueba de hipótesis. En tales casos, la mejor explicación posible provendrá de la coherencia entre todas las hipótesis consistentes con todos los hechos y principios científicos conocidos.

12 Las explicaciones, teorías y modelos científicos son aquellos que mejor dan cuenta de las evidencias disponibles en un momento determinado

Una teoría o modelo científico que represente las relaciones entre las variables de un fenómeno natural deberá ser consistente con las observaciones disponibles hasta ese momento y conducir a predicciones que puedan someterse a prueba. Cualquier teoría o modelo es provisional y estará sujeto a revisión a la luz de nueva información aun cuando haya conducido a predicciones consistentes con datos del pasado.

5-7

Toda persona puede hacer preguntas acerca de las cosas del mundo natural y hacer algo para encontrar respuestas que ayuden a explicar lo que está ocurriendo.

7-11

En la ciencia se buscan explicaciones por medio de alguna indagación sistemática en la que se reúna datos por medio de la observación, o midiendo las características de los objetos de estudio, o usando información de otras fuentes. El que se obtenga o no una explicación efectiva dependerá de los datos recolectados. Generalmente la recolección de datos se orientará por alguna teoría o hipótesis acerca de lo que podría estar ocurriendo.

11-14

Para ayudar al proceso de explicar las observaciones y lo que hace que sucedan las cosas, los científicos crean modelos representando lo que piensan que podría estar ocurriendo. En ocasiones éstos son modelos físicos como un planetario de mesa (un modelo del Sistema Solar en el que se usan varios objetos para representar al Sol, la Luna, la Tierra y otros planetas), o un modelo de palillos y esferas de lo que se supone es el arreglo de los átomos en una sustancia. Otros modelos son teóricos, más abstractos, como el representar la luz como un movimiento de ondas, o representar las relaciones como fórmulas matemáticas. Los modelos basados en computadora permiten simular los fenómenos y cambiar fácilmente sus variables para investigar su efecto. Algunos modelos se hallan firmemente establecidos en teorías que se ha demostrado funcionan sin contradicción en todos los contextos encontrados hasta el momento. Otros son más tentativos y muy propensos a cambiar en el futuro. A veces existe más de un modelo posible y la evidencia de lo que funciona mejor no es concluyente; en otros casos todavía no tenemos un modelo explicativo satisfactorio.

14-17

Los modelos ofrecen maneras de explicar los fenómenos considerando las relaciones entre las partes de un sistema. Los modelos se desarrollan por medio de un proceso iterativo de comparar lo que predicen con lo que se encuentra en el mundo real. El razonamiento basado en modelos trasciende lo que se puede observar directamente, y a la vez conserva el vínculo con las evidencias al comparar lo que predice el modelo con lo que se observa.

Las explicaciones científicas representan situaciones o fenómenos específicos como teorías o modelos. Las explicaciones no emergen por sí solas de los datos sino que se crean mediante un proceso que frecuentemente atañe a la intuición, la imaginación y a las hipótesis fundamentadas. Una teoría científica es una explicación bien fundada de algún aspecto del mundo natural, basada en un conjunto de hechos bien establecidos pues se han confirmado repetidamente con observaciones y experimentos.

Si los datos nuevos no son consistentes con las ideas aceptadas hasta el momento, entonces éstas deben cambiarse o reemplazarse por ideas alternativas. Si bien existe mayor confianza en las ideas o modelos que lleva a predicciones que repetida y confiablemente concuerdan con las observaciones (y, por tanto, se consideran hechos), una explicación o teoría nunca podrá comprobarse como "correcta" porque siempre existe la posibilidad de encontrar datos adicionales que entren en conflicto con ella o se encuentre una teoría nueva que también ofrezca una buena explicación. Por ello algunas de las ideas científicas con las que hoy se explican las cosas a nuestro alrededor difieren de las que se aceptaban en el pasado, y bien pudieran cambiar en el futuro.

13

Los conocimientos producidos por la ciencia se utilizan en la ingeniería y en las tecnologías para crear productos

La aplicación de las ideas científicas en la tecnología ha cambiado considerablemente muchos aspectos de la actividad humana. Los avances en tecnología permiten que siga avanzando la actividad científica, lo que a su vez incrementa la comprensión del mundo natural. En algunas áreas de la actividad humana, la tecnología se adelanta a las ideas científicas, pero en otras estas últimas preceden a la tecnología.

5-7

Las personas han creado las tecnologías para hacerse de las cosas que necesitan o pueden usar; por ejemplo: alimentos, herramientas, ropa, un lugar para vivir y medios para comunicarse. En todo nuestro alrededor hay ejemplos de cómo se han cambiado los materiales para cumplir ciertos propósitos.

7-11

Las tecnologías se desarrollan aplicando la ingeniería. Se identifican los problemas y se utilizan ideas de la ciencia y otras áreas para diseñar y desarrollar la mejor solución posible. Siempre hay maneras distintas de abordar los problemas de manera que se tienen que probar varias posibilidades. Para poder decidir cuál es la mejor solución debe haber claridad en cuanto al resultado que se pretende y con ello, la manera en que se juzgará si se ha tenido éxito o no. Por ejemplo, una solución al problema de poder vernos la parte posterior de la cabeza sería distinta si uno de los criterios del éxito consistiera en que la solución deje las manos libres.

11-14

El diseño de una solución para un problema generalmente involucra hacer un dibujo o un modelo. Los modelos físicos, matemáticos o en computadora permiten probar el efecto de los cambios en los materiales o el diseño y mejorar así la solución. Generalmente hay muchos factores por considerar al optimizar una solución tales como el costo, la disponibilidad de los materiales y su impacto en los usuarios y el ambiente, todo lo cual puede limitar las opciones.

14-17

La ciencia, ingeniería y tecnología están estrechamente interconectadas. Aplicar la ciencia en la elaboración de materiales nuevos constituye un ejemplo de la manera en que el conocimiento científico ha ayudado al avance de la tecnología y ampliado para los ingenieros la gama de opciones en el diseño de construcciones. Al mismo tiempo, los avances tecnológicos (particularmente con la provisión de computadoras) han contribuido al desarrollo científico al mejorar los instrumentos de observación y medición, automatizando procesos que de otro modo resultarían demasiado peligrosos o que consumirían demasiado tiempo. Así, la tecnología ayuda al avance científico que a su vez puede usarse en el diseño y elaboración de productos que la gente puede usar. En el pasado era frecuente que los productos tecnológicos se desarrollaran empíricamente antes que las ideas científicas. Hoy por lo general el conocimiento científico se produce primero o al mismo tiempo. La aplicación de la ciencia en el diseño y la elaboración de herramientas y máquinas nuevas ha hecho posible la producción masiva y por ello, más personas tienen acceso a una diversidad de artículos.

Además de sus ventajas, algunos productos de la tecnología también presentan desventajas. Si bien usar algunos materiales artificiales impondría una menor demanda de los escasos materiales naturales, muchos de ellos no se degradan de la misma manera que los naturales. Esto representa un problema para desecharlos. Algunos dispositivos tecnológicos como los teléfonos celulares y las computadoras contienen metales que existen en cantidades pequeñas en la Tierra y que pronto podrían agotarse. Estos ejemplos reflejan un problema mayor; esto es, la necesidad de reciclar materiales para conservar los recursos y reducir la contaminación. Cuando se producen efectos adversos en el ambiente que afectan las vidas de las personas, los científicos e ingenieros tienen que colaborar para comprender los problemas y encontrarles solución.

14

Las aplicaciones de la ciencia tienen con frecuencia implicaciones éticas, sociales, económicas y políticas

La aplicación del conocimiento científico a las tecnologías hace posibles muchas innovaciones. Determinar si ciertas aplicaciones de la ciencia son o no deseables es algo que no puede abordarse tan solo con conocimiento científico, pues pueden ser necesarios juicios éticos y morales basados en consideraciones tales como la justicia o equidad, la seguridad humana, así como los impactos en las personas y el ambiente.

7-11

El conocimiento del mundo natural que se ha desarrollado por medio de la ciencia nos permite explicar cómo funcionan las cosas y cómo ocurren algunos fenómenos. A menudo este conocimiento se puede aplicar al cambio o a la elaboración de algo que ayude a solucionar problemas humanos. A pesar de que tales soluciones tecnológicas han mejorado las vidas y la salud de muchas personas en todo el mundo, debemos reconocer que consumen materiales del mundo natural que podrían agotarse, o causar modificaciones en detrimento del ambiente.

11-14

Generalmente, aplicar la ciencia da lugar a consecuencias tanto positivas como negativas. Algunos de los impactos negativos se pueden prever, pero otros salen a la luz con la experiencia. El agua limpia, los alimentos adecuados y mejores medicinas han ampliado la expectativa de vida, pero al mismo tiempo han resultado en un crecimiento poblacional que ha impuesto mayores demandas sobre los recursos y el espacio en la superficie de la Tierra para producir más comida, construir más vivienda y disponer de los desechos. Muchas veces esto ha ido en detrimento de quienes viven en países en desarrollo y ha resultado en la destrucción de los hábitats de otros seres vivos provocando la extinción de algunos de ellos.

Hay muchos ejemplos de la manera en que los adelantos tecnológicos y de ingeniería han tenido consecuencias no intencionales. Con la mayor facilidad y velocidad en el transporte, particularmente aéreo, se queman combustibles que producen bióxido de carbono, uno de varios gases en la atmósfera que provocan el calentamiento de la Tierra con el efecto de invernadero. Al aumentar estos gases en la atmósfera se eleva la temperatura del planeta. Incluso una elevación modesta puede tener efectos significativos como modificar el hielo polar, los niveles del mar y los patrones de las condiciones atmosféricas. En casos como éstos en los que ya se conocen los efectos nocivos, deben considerarse cuidadosamente las ventajas y desventajas de aplicar la ciencia.

14-17

Toda innovación consume recursos de algún tipo, incluyendo los financieros, así que cuando las demandas compiten entre sí hay que tomar decisiones. Tales decisiones, sean a nivel gubernamental, local o individual, deben tomarse con base en la comprensión del conocimiento científico y los principios tecnológicos que involucran; sin embargo, las acciones que se decidan se basarán en los valores y en las necesidades existentes, y no solamente en las evidencias científicas. Por ende, al diseñar un sistema o producto nuevo, los ingenieros han de tomar en cuenta valores éticos, las realidades políticas y económicas, además de la ciencia y la tecnología.

El conocimiento científico puede ayudar a identificar las implicaciones de ciertas aplicaciones, pero las acciones que se decidan requerirán de juicios éticos y morales que los conocimientos científicos no proporcionan. Existe una diferencia importante entre el conocimiento que proporciona la ciencia acerca de, por ejemplo, la necesidad de preservar la biodiversidad, los factores que llevan al cambio climático y los efectos adversos a la salud de sustancias o estilos de vida dañinos, y entre las acciones que podrían o no tomarse respecto a estos temas. Las opiniones sobre las acciones pueden variar, pero los argumentos con base en evidencias científicas no deben ser cuestión de opinión.

5 Trabajando con las grandes ideas en mente

Durante muchos años, repetidamente y de manera generalizada, se han hecho llamados pidiendo mayor profundidad y una reducción de la amplitud descoordinada en las metas de la educación en ciencias. La publicación de *Principios y grandes ideas de la educación en ciencias* respondió a este desafío al identificar un número relativamente pequeño de ideas que la educación en ciencias debería buscar desarrollar en todos los estudiantes. La retroalimentación que recibimos de los muchos países en donde esta publicación se ha traducido y usado, no nos señaló la necesidad de hacer más que correcciones y cambios menores en las descripciones de las ideas identificadas.

Sin embargo, sí se requiere de mayor experiencia y diálogo sobre las implicaciones prácticas de trabajar con estas grandes ideas en mente. Particularmente, ¿cuál es su impacto en las decisiones sobre los elementos clave en las experiencias de aprendizaje de los estudiantes: elección del contenido del currículo, pedagogía y evaluación del estudiante? En esta sección intentaremos dar respuesta a estas preguntas.

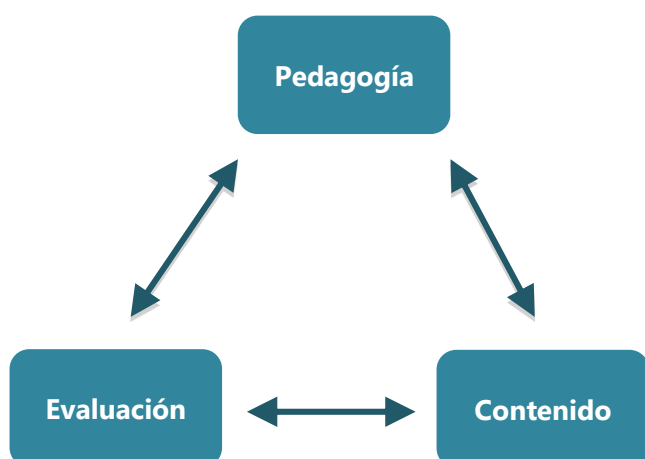


Figura 1:
Interacciones entre los aspectos de la experiencia del estudiante

Los tres aspectos de la experiencia de los estudiantes (representados en la Figura 1) no son independientes entre sí. Como lo indican las flechas, los cambios en uno afectan a los demás. Estas interacciones son importantes, ya que no tiene caso sugerir que se enfoque el contenido en las grandes ideas si la evaluación exige memorizar numerosos datos, o si la pedagogía no establece los vínculos necesarios para formar estas grandes ideas. De nada sirve propugnar la enseñanza basada en indagación si existe un sistema de evaluación sumativa

dominante (sea por exámenes externos o juicios del maestro) o un currículo sobresaturado de contenido. Tampoco podemos esperar que los estudiantes desarrollen responsabilidad por su propio aprendizaje continuo, si la enseñanza no les deja tiempo para la reflexión ni espacio para la creatividad, como tampoco podemos esperar actitudes positivas hacia la ciencia si los estudiantes perciben el contenido del currículo alejado de sus intereses y experiencia.

Oportunidades para todos los estudiantes

Al considerar las oportunidades de aprendizaje que se brindan a través del contenido del currículo, la pedagogía y la evaluación, es importante tener en mente el principio clave de la equidad (página 8): todos los estudiantes necesitan por igual estas oportunidades en su preparación para la vida en el mundo complejo de hoy. La convicción de que todos los estudiantes pueden aprender está sustentada por la investigación. Sin embargo, en muchos países se detectan diferencias marcadas y persistentes en el logro asociadas al género, los antecedentes culturales y el nivel socioeconómico. De los numerosos factores que explican estas diferencias en relación a la ciencia, se encuentra que las oportunidades de aprendizaje tanto dentro como fuera de la escuela revisten la mayor importancia. Aunque se vuelve cada vez más común observar a estudiantes aprendiendo fuera de las escuelas (que ya no representan la fuente principal de conocimiento), éstas siguen proveyendo las oportunidades para el aprendizaje formal. Sin embargo, es mucho más probable que los estudiantes provenientes de hogares y entornos más privilegiados asistan a escuelas bien dotadas para la enseñanza de las ciencias, concluyan su educación secundaria y continúen estudiando, que los alumnos de sectores desfavorecidos.

Las escuelas con una gran proporción de estudiantes de contextos desaventajados tenderán a concentrarse en compensar las deficiencias de los estudiantes en lenguaje y matemáticas en menoscabo de otras materias, incluyendo las ciencias. Además, frecuentemente estas escuelas no cuentan con maestros preparados ni con los recursos para enseñar ciencias. En consecuencia, sus estudiantes se pierden experiencias tempranas que constituyen el cimiento para entender las ideas y prácticas científicas y los beneficios que de ello se derivan.

La identificación de los problemas sugiere soluciones. Las escuelas necesitan los maestros, el apoyo, los equipos y la orientación que se requiere para asegurar que los estudiantes de todos los contextos cuenten con oportunidades iguales para aprender. Esto podría significar la reubicación de recursos humanos y materiales. También podría significar orientación para asegurar que la evaluación se utilice para apoyar el aprendizaje y que los métodos de evaluación no pongan en desventaja a los estudiantes con habilidades lingüísticas pobres o cuyo idioma en casa sea distinto al de la instrucción. Pero igual de importante es la orientación para que se emplee la diversidad entre los estudiantes como un recurso de acuerdo con los principios aplicables a la selección de actividades de aprendizaje (página 9), de tal manera que las experiencias cotidianas y las ideas que todos los estudiantes traigan a la escuela formen la base para que desarrollen ideas científicas.

Contenido del currículo

Al hablar del contenido del currículo nos referimos al tema o la materia de estudio en particular que sirve como vehículo para que los estudiantes desarrollen las ideas, habilidades y actitudes plasmadas en un programa de estudio formal. Como existen numerosos entornos para desarrollar ideas, por ejemplo, sobre fuerzas y movimiento, cadenas alimentarias o las propiedades aislantes de distintos materiales, tiene que haber una manera de elegir entre los temas y actividades posibles. Los principios en la Sección 2 implican algunos criterios de selección: las actividades deben promover el disfrute de la actividad científica; mantener la curiosidad; los estudiantes deben percibir las actividades

como de interés y relevancia para sus vidas; además, por supuesto, las actividades han de desarrollar comprensión científica, las habilidades y las actitudes. Además, una razón fundamental para identificar las grandes ideas es para que los estudiantes puedan experimentar cómo la ciencia nos permite comprender cómo funciona el mundo.

Usar contenido del mundo que nos rodea

Los maestros instintivamente suelen reconocer la necesidad de capturar el interés de sus alumnos y el que esto se logra mejor seleccionando contenido relacionado con una experiencia real o posible, pero hipotética. Los maestros de niños pequeños son expertos en crear un cuento o situación imaginaria como escenario para las investigaciones, como construir en el aula una casita con cajas de zapatos como contexto para explorar los distintos materiales que se usan en las construcciones verdaderas, o imaginar cómo conservar el calor en una montaña fría y ventosa como motivo para probar las propiedades aislantes de distintas telas. Entre los estudiantes mayores, el contexto imaginario podría complementarse con una experiencia real, como visitas a plantas generadoras, plantas de tratamiento de aguas, centros de reciclaje, etc. Estas visitas no solamente pueden motivar el interés acerca de cómo se prestan estos servicios esenciales, sino que brindan a los estudiantes la oportunidad de ver la aplicación de la ciencia en estos procesos.

Los temas del mundo real ofrecen interés y motivación. La inducción de motivación es importante, particularmente en una época en la que los niños tienen acceso instantáneo al entretenimiento no solamente a través de la televisión, sino en cualquier momento con sus dispositivos móviles. No obstante, los sucesos y fenómenos del mundo que nos rodea frecuentemente resultan demasiado complejos para que los estudiantes puedan comprender cómo funcionan a través de la interacción directa con sucesos o fenómenos reales. Si bien usar contextos del mundo real ofrece muchas ventajas, existen ciertos fenómenos que tienen que estudiarse *in situ* precisamente por su complejidad, y esto también puede originar confusión. Los considerables detalles de los sucesos reales puedan oscurecer las características que deben identificarse para desarrollar ideas que puedan transferirse a otros entornos.

Los alumnos necesitan ayuda para enfocar su atención a las características cruciales (y no las irrelevantes) de un problema complejo. No debe presuponerse que podrán identificar por ellos mismos las relaciones subyacentes y aplicables. Así, para evitar la confusión de trabajar únicamente en el campo, llevamos la esencia del problema al aula o laboratorio donde puedan comprobarse y desarrollarse las ideas de manera más directa. Independientemente de que el contexto que motive la participación sea una historia o una visita, la ciencia se aprende como una versión simplificada de la realidad en el aula o un laboratorio donde pueden controlarse las condiciones y se pueden medir las variables.

Es importante en este proceso no perder el vínculo con lo que existe en el mundo a nuestro alrededor. Si no se mantiene ese vínculo vital con el entorno "real", se corre el riesgo de olvidar la relevancia de las actividades en el aula. Por ello se necesita equilibrar entre la riqueza y las demandas cognitivas de la abundante información en los contextos del mundo real y el estudio de los aspectos específicos que ayudan a establecer conexiones entre diferentes sucesos y fenómenos. También será importante conversar regularmente acerca de cómo los hallazgos de las indagaciones en el aula se relacionan con el contexto inicial que las motivó. Los retos de aplicar las ideas emergentes a situaciones nuevas y

establecer conexiones con las ideas empleadas para explicarlas es lo más significativo en el desarrollo de ideas más grandes.

Maneras de abordar el contenido

Algunos temas se abordan mejor por medio de la investigación e indagación, mientras que otros se presentan mejor como narrativa de un descubrimiento científico o un diálogo sobre experimentos o hallazgos de interés para el tema en curso. Todos estos abordajes deben incluirse en la selección de contenido vinculado a las grandes ideas. Es importante que los estudiantes tengan oportunidades para discutir sobre cómo algunas ideas han cambiado la historia de la ciencia y las razones de esos cambios. Extender esta discusión a las investigaciones de los estudiantes les ayuda a reconocer el papel de las evidencias para desarrollar conocimiento, avanzar hacia las grandes ideas sobre la naturaleza de la ciencia y sus aplicaciones. Se puede promover esto aún más discutiendo acerca de cómo la aplicación la ciencia se ha traducido en descubrimientos, por ejemplo, en medicina, comunicaciones y viajes. Temas como éstos generalmente captan el interés de los estudiantes y representan fuentes clave de motivación para desarrollar sus ideas sobre los sucesos y fenómenos del mundo que los rodea.

Progresión en el abordaje del contenido

Se pueden estudiar los mismos sucesos, hábitats y fenómenos varias veces a través de los años escolares, siempre y cuando la manera de investigar el contenido tome en cuenta la progresión de los estudiantes en el desarrollo de ideas relevantes, en el tiempo. Como ya se señaló en la Sección 4, el ritmo de esta progresión variará de un alumno a otro según las oportunidades que haya tenido antes, tanto dentro como fuera de la escuela. Por ello no sería realista describir con exactitud una progresión que aplique a todos los estudiantes. No obstante, existen algunas tendencias comunes que permiten describir en términos amplios lo que podría esperarse en varios momentos durante el paso de los estudiantes de la educación preescolar, a la primaria y secundaria. Entre estas tendencias se incluyen:

- un mayor reconocimiento de que deben considerarse varios factores para poder explicar los fenómenos
- mayor cuantificación de las observaciones, usando matemáticas para afinar las relaciones y profundizar la comprensión
- mejor capacidad para considerar que las propiedades se pueden explicar mediante características que no se observan directamente
- mayor eficacia en la utilización de los modelos físicos, mentales y matemáticos.

Aquí, al hablar de aumentar la cuantificación de las observaciones y los modelos de relaciones, resalta el importante papel que desempeñan las matemáticas en el desarrollo de las ideas científicas por medio de la indagación. Las matemáticas ayudan a los estudiantes a ir más allá de las descripciones a través de palabras. La organización de datos en representaciones gráficas y tablas ayuda a los estudiantes a reconocer patrones y a establecer conexiones que desarrollan su pensamiento sobre las asociaciones entre variables, y a formular hipótesis respecto a causas que pueden ser sometidas a prueba. El análisis estadístico de datos permite a los estudiantes inferir la probabilidad de las relaciones y predicciones. Se produce un beneficio mutuo al coordinar la educación en ciencias y matemáticas. Las herramientas matemáticas ayudan a entender la ciencia. Al

mismo tiempo usar los datos de investigaciones científicas ayuda a desarrollar la valoración de la gama y aplicación de estas herramientas.

Pedagogía

Al tratar de darle sentido a una experiencia nueva, sea dentro o fuera del aula, los estudiantes comienzan por las ideas que ya tienen, de la misma manera que lo hacen los científicos cuando intentan explicar fenómenos y desarrollan su comprensión del comportamiento de las cosas en el mundo que los rodea. En la ciencia la comprensión del mundo natural y del creado por la actividad humana se desarrolla buscando las respuestas a las preguntas, recolectando datos, razonando y revisando las evidencias a la luz de los hallazgos y lo que ya se conoce, sacando conclusiones y comunicando los resultados. La fuente de información puede ser a través de la manipulación directa de materiales, la observación de fenómenos o la utilización de fuentes secundarias como libros, internet, los medios y las personas. La interpretación de los datos para proveer evidencias y comprobar las ideas puede implicar debates con otros estudiantes y el maestro así como investigar las conclusiones a las que han llegado los expertos. Todo ello implica que los alumnos participan en actividades similares a aquellas en que se involucran los científicos cuando desarrollan comprensión. Al realizar estas actividades de manera consciente, los estudiantes desarrollan sus ideas acerca de la ciencia.

Desarrollar ideas a través de la indagación

El proceso de desarrollar ideas de esta forma se describe como indagación: se utiliza la investigación científica y las habilidades que emplean los científicos para desarrollar comprensión del mundo a su alrededor. La Figura 2 es un modelo esquemático simplificado de lo que esto significa en la práctica.

La indagación inicia con una experiencia nueva de la cual surge una pregunta que busca una explicación. La exploración inicial de la experiencia nueva revela características que se relacionan con las ideas previas o existentes que podrían llevar a una posible explicación. Puede haber varias ideas relevantes que aporten explicaciones posibles (o hipótesis) que han de someterse a prueba para averiguar cuál, de haberla, ofrece una respuesta aceptable. En cada caso la comprobación determinará si hay o no evidencias que apoyen una predicción basada en las mismas. Las evidencias se recolectan luego de planificar y realizar una investigación, que podría consistir en reunir e interpretar información nueva, en la observación sistemática o en la consulta de fuentes secundarias. Podría haber más de una predicción por comprobarse, de manera que quizá tenga que repetirse la secuencia de predicción, planificación e interpretación. La conclusión derivada de la nueva información demuestra si existen o no evidencias que apoyan la posible explicación y la idea sobre la que esta última se basó. Si este es el caso, entonces la idea se vuelve “más grande” porque entonces explica una gama más amplia de fenómenos. Aun cuando no “sirva” (y que tenga que probarse una idea alternativa), la experiencia habrá ayudado a afinar dicha idea. Es importante que los estudiantes compartan con otros todo el proceso de actividades y razonamiento para que todos puedan beneficiarse con el diálogo crítico y aprendan tanto de lo que no sirvió como de lo que sí sirvió.

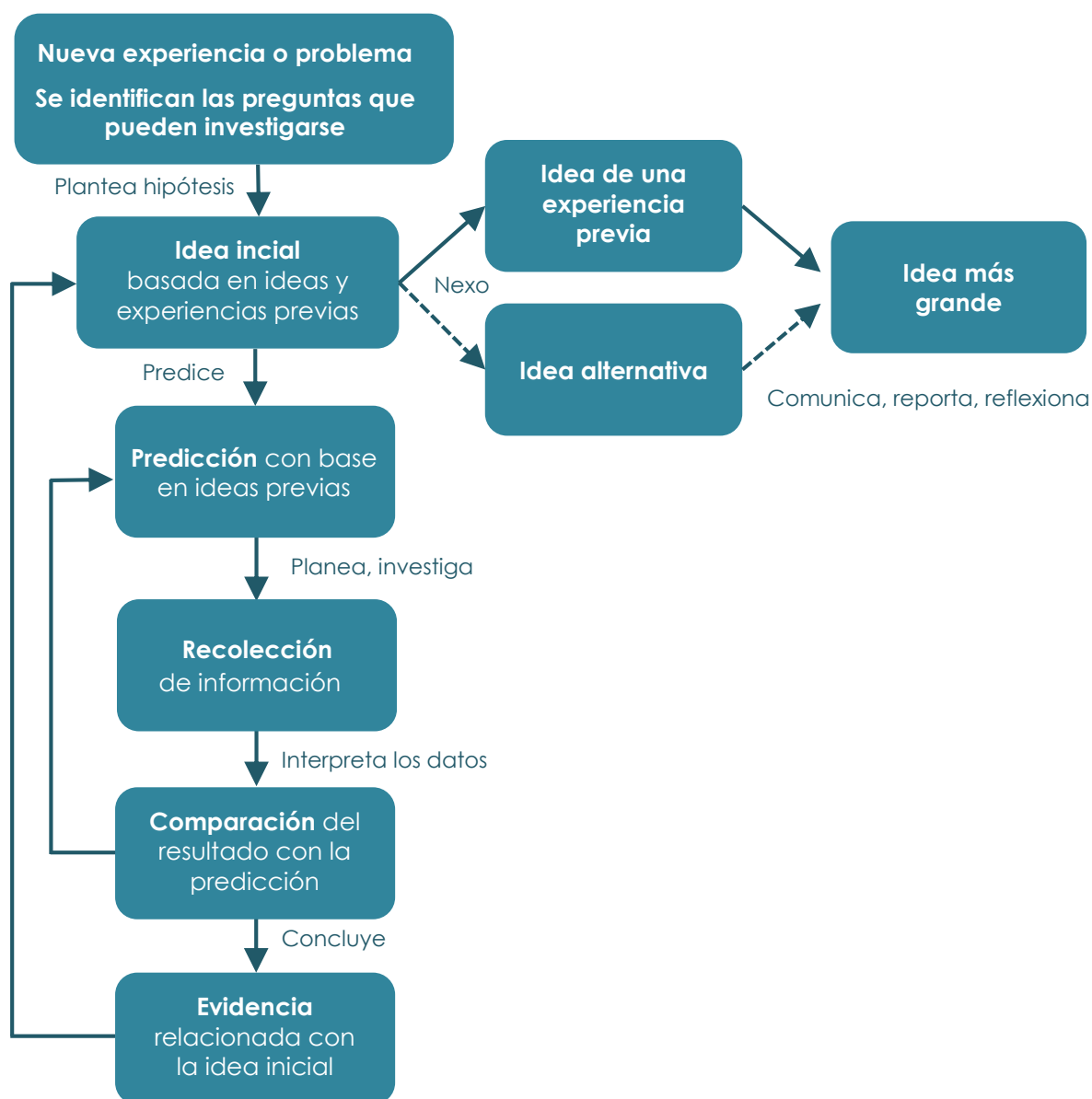


Figura 2:
Modelo de aprendizaje por medio de la indagación

Desarrollar capacidades para la indagación

Las flechas de la Figura 2 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 comprensión consiste en ayudar a los estudiantes a desarrollar las habilidades necesarias para la investigación científica de acuerdo con los principios en la página 8. 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. Así, el valor de la indagación trasciende el encontrar respuesta a una pregunta en particular. Contribuye tanto a la comprensión de las grandes ideas que aplican más allá de un suceso específico o de un fenómeno de estudio, como a desarrollar capacidades y disposiciones que promueven el aprendizaje futuro, tales como tener confianza en hacer preguntas y buscar respuestas, aprender en colaboración con otros y tener apertura a ideas nuevas.

Introducción de ideas alternativas

Las ideas que usan los estudiantes al tratar de explicar situaciones no siempre, más bien, pocas veces, son el tipo de ideas que sobreviven cuando son sometidas a prueba y por lo tanto “crecen” y se convierten en ideas más científicas. La mayoría de las veces hay que proponer una idea alternativa más científica. Por ejemplo, los estudiantes podrían explicar que son capaces de ver un objeto que no es una fuente de luz porque son sus ojos los que le dirigen un haz de luz. Al someter esta idea a prueba (esto es, intentando ver el objeto en la obscuridad), queda demostrado que la anterior no es una explicación adecuada. De ahí la importancia del papel del maestro en proporcionar acceso a ideas alternativas y brindar apoyo para que los estudiantes puedan ponerlas a prueba.

Las ideas alternativas podrían provenir de otros estudiantes, de fuentes de información o del maestro que sugiere analogías o vínculos con vivencias que quizá no se le hayan ocurrido al alumno. Comprobar estas ideas alternativas que no son del propio estudiante requiere de un andamiaje: esto es, apoyar la comprobación de una idea sin sugerir que se trata de la “respuesta correcta”. Para ello se pueden usar expresiones como, “¿qué tal si...?”, “imagínate que...”, “¿qué podríamos esperar si...?”. Con esta clase de apoyo, los estudiantes reúnen evidencias que les permiten decidir si una idea nueva para ellos les ofrece una explicación satisfactoria. De ser así, entonces la idea que se introdujo se vuelve “más grande” porque entonces explica más que antes y se convierte en parte de la creciente comprensión de los alumnos.

La indagación y el trabajo práctico

En ocasiones la ciencia basada en la indagación se equipara con el trabajo o las actividades “prácticas”, lo cual constituye una visión demasiado limitada de la indagación en la ciencia. Por supuesto, gran parte de la indagación sí implica trabajar con materiales y equipo para encontrar evidencia de lo que sucede cuando se cambian ciertas cosas, así como para someter a prueba una teoría de porqué ocurre así. La experiencia directa permite a los estudiantes ver por ellos mismos si sus ideas y explicaciones funcionan. Sin embargo, los maestros deben tener cuidado de no caer en la pseudoindagación en la que hay mucha actividad práctica (observación, medición y registro) pero falta la participación de los estudiantes a la hora de entender los fenómenos o sucesos en el mundo natural. Esto podría deberse a que el maestro interpreta en lugar de los estudiantes, o a que los estudiantes siguen instrucciones precisas sin pensar mucho en el propósito de lo que están

haciendo. La evaluación de la enseñanza, como se sugiere en la Sección 6, podría ayudar a identificar la causa de esto en algunos casos particulares.

La indagación en contexto

Como ya se apuntó en la Sección 3, indagación significa que los estudiantes están desarrollando su comprensión por medio de su propia investigación de las preguntas para las que no conocen respuestas y quieren encontrarlas. Las preguntas pueden ser las que ellos mismos han hecho, o aquellas que introduce el maestro de manera que los estudiantes puedan identificarlas como propias. Unas cuantas investigaciones en las que el alumno sea el que haga el razonamiento, que inicien con una pregunta que él considere importante servirán mucho más para desarrollar las grandes ideas que una cantidad mayor de ejercicios de rutina.

La indagación no será la única pedagogía que encontrarán los estudiantes durante su educación en ciencias, porque deben aprender a usar equipo, nombres, convenciones y símbolos que se enseñan mejor directamente. Asimismo, a los estudiantes de escuela secundaria se les deben presentar ideas complejas y abstractas a las que no pueden acceder únicamente con indagación. Ciertamente, en todas las etapas habrá ocasiones en las que la indagación contribuya al entendimiento de las vivencias sin que represente el único abordaje que se use. La indagación permitirá a los estudiantes entender la manera en que ciertas ideas explican fenómenos pero en sí, no constituirá la fuente de estas ideas, ya que las ideas no emergen por un sencillo proceso de inducción de las observaciones. Por tanto, la capacidad del maestro para introducir ideas científicas al nivel apropiado y crear un andamiaje para que sus alumnos puedan usarlas forma parte medular de la educación en ciencias basada en la indagación. Esto significa que los maestros requieren conocer bien las grandes ideas y la progresión hacia ellas.

Evaluación

En el contexto de construir las grandes ideas, la evaluación del aprendizaje de los estudiantes cumple dos propósitos importantes:

- Proporcionar retroalimentación que ayuda a los maestros a regular su enseñanza y a los estudiantes a dirigir sus esfuerzos con mayor eficacia (evaluación formativa).
- Dar seguimiento al avance de los estudiantes hacia las diversas metas de la educación en ciencias (evaluación sumativa).

Es importante subrayar que las anteriores no son dos clases diferentes de evaluación, sino dos propósitos diferentes e igualmente importantes para los que se utiliza la evaluación. El uso que se le dé a las evidencias del aprendizaje (y no la clase de evidencias ni cuándo o cómo se reúne) es el que hace que la información de la evaluación sea formativa o sumativa.

Evaluación formativa

El uso formativo de la evaluación es un proceso cíclico continuo en el que la información acerca de las ideas y habilidades de los estudiantes enriquece la enseñanza cotidiana y facilita la participación activa de los alumnos en el aprendizaje. Es un elemento integral de la enseñanza y una característica de la práctica efectiva en todas las materias. La evaluación

formativa implica que el maestro y los estudiantes colecten y usen evidencias para tomar decisiones sobre los siguientes pasos del aprendizaje y cómo darlos. Los siguientes pasos son aquellos que llevan al estudiante hacia objetivos particulares en la lección. Parte importante de la evaluación formativa radica en que los maestros compartan estas metas con los estudiantes para que ellos interpreten el propósito de su trabajo de acuerdo con lo que puedan aprender con él. Ser explícitos con los estudiantes acerca de las expectativas de calidad que servirán para juzgar su trabajo también les ayuda a dirigir sus esfuerzos eficazmente. Al mismo tiempo, el maestro reconoce cómo estas metas de corto plazo en la lección conducen a los estudiantes hacia metas de más largo plazo, incluyendo la comprensión de las grandes ideas.

La retroalimentación tanto a los estudiantes como a los maestros desempeña un papel clave en la evaluación formativa, pues es un medio para usar las evidencias del aprendizaje que está en curso para promover un mayor aprendizaje. Cuando el maestro retroalimenta a los estudiantes deberá darles información que les sirva para impulsar su aprendizaje. Las investigaciones acerca del contenido y la forma de la retroalimentación a los estudiantes indica que ésta resulta más eficaz cuando proporciona comentarios específicos sobre cómo avanzar, en lugar de comentarios de juicio o calificaciones que solamente indican cuán bueno o no se ha juzgado el trabajo. La retroalimentación acerca de la enseñanza es el mecanismo mediante el cual los maestros pueden emplear sus observaciones de los estudiantes y su trabajo para ajustar los retos que les presenten. Juzgar la habilidad de los estudiantes para dar ciertos pasos facilita la regulación de la enseñanza de manera que las demandas de las actividades no resulten demasiado exigentes, colocando el éxito fuera de su alcance, ni demasiado fáciles como para que se pierda el interés.

Entonces, ¿qué se requiere de los maestros cuando usen la evaluación formativa para desarrollar las grandes ideas? Se pueden reunir evidencias de las ideas actuales de los estudiantes haciéndoles preguntas que los alienten a explicar su razonamiento, en lugar de preguntas tipo examen en las que se espera que den la "respuesta correcta". Esto es, se puede preguntar "¿qué piensas tú que es...?" en lugar de "¿qué es...?". Durante las actividades se puede responder a estas preguntas en forma oral o escrita, con dibujos, mapas de conceptos, etc. Interpretar los hallazgos desde la perspectiva del avance hacia las metas de aprendizaje permite al maestro decidir los pasos a seguir y brindar retroalimentación a los estudiantes sobre cómo progresar. La participación de los estudiantes en este proceso, ayudándoles a entender las metas de su trabajo y los estándares que deben perseguir, les permite asumir algo de responsabilidad por su aprendizaje y reflexionar sobre él.

Evaluación sumativa

El segundo propósito de la evaluación que ha de considerarse es el registro y el reporte del aprendizaje en ciertos momentos; es decir, el aprovechamiento durante un período determinado, no las metas detalladas de las lecciones que son materia de evaluación formativa. La evaluación sumativa se usa para reportar el logro de los estudiantes a sus padres, a otros maestros y a ellos mismos en relación con las metas y los estándares. Las escuelas utilizan esta evaluación para sus registros y para monitorear el progreso individual y de los grupos. Una evaluación sumativa bien hecha también proporciona ejemplos y definiciones operativas de lo que significa entender ideas, y cómo se revela la comprensión aplicando el aprendizaje de diversas maneras. Los criterios aplicados para juzgar el logro

dejan en claro los estándares y las expectativas a los estudiantes, maestros y otros. La evaluación sumativa también debe ayudar al aprendizaje, aunque en el largo plazo y no en el inmediato, como es el caso de la evaluación formativa.

La evaluación sumativa está firmemente vinculada al contenido curricular y la pedagogía. Cuando no se realiza bien puede tornarse restrictiva. Si las herramientas de evaluación no reflejan adecuadamente los objetivos que se persiguen provocan impactos negativos, como por ejemplo, examinar el conocimiento de hechos cuando el objetivo es conocer la capacidad para aplicar ideas. Este impacto se exagera cuando se usan incorrectamente los resultados de los alumnos, generalmente en forma de calificaciones de un examen, para evaluar a maestros y escuelas. Esta situación presiona a los maestros a “enseñar para el examen” y frustra los intentos por enfocar el contenido curricular en las grandes ideas cuando éstas no se incluyen en los exámenes. Para efectos de justicia, la rendición de cuentas con base en exámenes exige mediciones tan confiables como sea posible. No obstante, la demanda por un alto grado de confiabilidad tiene el efecto de reducir lo que se evalúa comprometiendo su validez. También hay evidencias de investigación que indican que cuando examinar el desempeño se convierte en el factor dominante en el aula, la evaluación sumativa acaba por eliminar a la evaluación formativa.

Ampliar los métodos de evaluación sumativa

A fin de que la evaluación sumativa pueda desempeñar un papel útil en el desarrollo de las grandes ideas, se deben idear y adoptar métodos de evaluación que arrojen evidencia válida sobre la comprensión. Ya se han realizado algunos esfuerzos para crear métodos de evaluación mejor alineados con las metas de la educación en ciencias basada en la indagación. Pero falta mucho por hacer para asegurar que la evaluación sumativa del alumno sea coherente con los procesos de aprendizaje y la pedagogía que promuevan las grandes ideas. Los ítems de ciencias de PISA han ampliado lo que es posible en exámenes escritos, pero al mismo tiempo se han señalado las limitaciones del examen en papel para la evaluación individual del alumno. En varios países se están empleando otros métodos que no están basados en preguntas en papel, ya sea en forma independiente o en combinación con respuestas por escrito para aquellas evaluaciones de alto impacto, como lo son los exámenes de ingreso a la educación terciaria. Algunos ejemplos son: utilizar las calificaciones de trabajos realizados durante la clase o de portafolios con el trabajo del curso; el uso de tareas prácticas, de trabajos por proyectos, de presentaciones y entrevistas. El uso cada vez más frecuente de dispositivos de pantalla para plantear preguntas y solicitar del desempeño de tareas (actualmente en desarrollo para PISA) tiene un potencial considerable para evaluar la aplicación de las ideas.

Varios de estos métodos dependen de mayor involucramiento y juicio por parte de los maestros de lo que actualmente se tiene en los exámenes externos tradicionales. Si estas formas de evaluación sumativa han de proporcionar datos aceptablemente confiables, será necesario contar con acciones para reducir el sesgo y los errores asociados con los juicios de los maestros. Existen varias maneras eficaces para mejorar la confiabilidad de los juicios de los maestros al nivel necesario para una evaluación sumativa confiable. Entre las principales se incluyen: moderación en grupo; usar ejemplos de trabajo evaluado, y las pruebas de referencia como verificación. La moderación en grupo, en la que los maestros se reúnen para revisar muestras del trabajo de los estudiantes, tiene un valor considerable, no solamente para mejorar la confiabilidad de los resultados, sino como una forma de

desarrollo profesional. La experiencia permite a los maestros profundizar su comprensión de los criterios empleados en la evaluación, así como del proceso de evaluación, con el beneficio adicional de mejorar la evaluación formativa de los maestros. Evaluar de esta manera significa que las evidencias de una evaluación formativa continua pueden contribuir a la evaluación sumativa, haciendo que estos propósitos de evaluación sean armónicos y no conflictivos entre sí.

Sin duda se requieren estrategias y herramientas para que la evaluación sumativa corresponda con el contenido y la pedagogía necesarias para desarrollar las grandes ideas. Más que esto último, empero, en muchos países una mejor práctica de evaluación exige un cambio de política relativa a cómo se evalúa la calidad de la enseñanza y la provisión para el aprendizaje en las escuelas. El uso de los resultados de exámenes de los alumnos como la única medida de la calidad de la enseñanza y eficacia de la escuela, sin considerar las diferencias del aprovechamiento entre los alumnos, debe ser sustituido por métodos más válidos que reflejen las metas modernas en educación y sus herramientas de evaluación. Si no ocurre un cambio así en la política, la presión por cumplir con los requisitos socavará hasta los procedimientos de evaluación más válidos, lo que se traducirá en una interpretación demasiado estrecha de los criterios y prácticas indebidamente impactadas por aquello que se puede someter a exámenes.

Resumen de implicaciones

Para resumir, volvemos a la pregunta de cómo el trabajo hacia las grandes ideas afectará las experiencias de aprendizaje de los estudiantes, considerando sucesivamente el contenido del currículo, la pedagogía y la evaluación. Aun cuando la enseñanza de ciencias basada en indagación y la evaluación formativa ya se están practicando, ha de añadirse algo más si se quiere que los estudiantes se beneficien desarrollando gradualmente el conocimiento y la comprensión de las grandes ideas que hemos identificado. Tomando en cuenta los conceptos anteriores, a continuación se presentan algunas de las principales características de trabajar con las grandes ideas en mente.

Contenido

- Los maestros pueden explicar cómo las metas y actividades de la lección se relacionan con las grandes ideas y de esta manera justificar el tiempo que se les dedica.
- Los maestros están conscientes de los pasos sucesivos de abstracción en el desarrollo de ideas más grandes.
- Los estudiantes trabajan en temas seleccionados porque para el maestro y para cualquier observador éstos guardan una clara relación con una o más de las grandes ideas.
- Las discusiones acerca de sus propias investigaciones, de las de sus compañeros y de las de los científicos del pasado y del presente, permiten a los estudiantes entender cómo se usan las evidencias para desarrollar ideas.
- A través de sus actividades, los estudiantes pueden desarrollar comprensión en algún punto apropiado de la progresión hacia las grandes ideas.

Pedagogía

- Los maestros ayudan a los estudiantes a desarrollar las capacidades y actitudes necesarias para coleccionar evidencias relevantes para comprobar ideas y responder a preguntas por medio de la indagación.
- Los estudiantes tienen oportunidades para observar y, cuando es posible, explorar los sucesos y fenómenos de primera mano.
- Los estudiantes tienen oportunidades para plantear preguntas y encontrar respuestas por medio de la indagación y de reflexionar sobre cómo esto los lleva a ideas más grandes y útiles.
- Los maestros ayudan a los estudiantes a darse cuenta de cómo las ideas que emergen de sus indagaciones en el aula se relacionan con aspectos de sus vidas cotidianas, y a reconocer los vínculos entre las experiencias e ideas nuevas y las previas.
- Los estudiantes tienen tiempo para reflexionar sobre sus investigaciones y sobre cómo pudieron haber cambiado sus ideas como resultado de recolectar y usar evidencias.
- Los maestros ayudan a los estudiantes a reconocer que las declaraciones acerca de las causas de los fenómenos necesitan apoyarse en evidencias creíbles y que el conocimiento científico no es cuestión de opinión, aunque dicho conocimiento pueda cambiar o afinarse a la luz de nuevas evidencias.

Evaluación

- Los maestros usan la evaluación formativa para promover la participación activa de los estudiantes en su aprendizaje asegurando que ellos entiendan los objetivos de su trabajo y cómo juzgar su calidad.
- Los maestros usan sus observaciones del aprendizaje continuo para ayudar a los estudiantes a avanzar en dicho aprendizaje por medio de retroalimentación para mejorar su trabajo y dar los siguientes pasos en la progresión hacia ideas mayores.
- Los maestros usan las evidencias del progreso de los estudiantes para ajustar el nivel de exigencia y el ritmo del trabajo a fin de asegurar que se aprenda entendiendo y progresando con las ideas.
- Los métodos de evaluación sumativa permiten a los estudiantes demostrar su comprensión de las ideas al utilizarlas para explicar los sucesos y fenómenos del mundo que los rodea.

6 Implementando las grandes ideas

Muchos aspectos de política y práctica influyen en la implementación de cualquier cambio en la educación. Aquí nos ocupamos de tres de ellos que afectan particularmente la implementación del trabajo con las grandes ideas en mente:

- la forma y el contenido del currículo escrito nacional o estatal, que tienen implicaciones en las decisiones acerca de contenido, pedagogía y evaluación.
- el papel fundamental del conocimiento pedagógico y del contenido del currículo de los maestros que es crucial para determinar las oportunidades de aprendizaje de los estudiantes
- la evaluación formativa de la enseñanza y de las experiencias de los estudiantes en el aula que dan soporte a las decisiones para mejorar la práctica y darle el mejor uso a los recursos de desarrollo profesional.

Las grandes ideas en los documentos de los currículos nacionales

Los documentos de currículos nacionales tienen la función de establecer las metas del aprendizaje y los principios que deberán guiar su implementación, pero no tienen como propósito proponer actividades de aprendizaje, pues esa es la función de las unidades o módulos de enseñanza. Tener en mente el objetivo general de ayudar a todos los estudiantes a desarrollar las grandes ideas tiene implicaciones en la manera en que se plasman las metas. Aun cuando los marcos curriculares especifican otros resultados del aprendizaje como habilidades de indagación en la ciencia, aquí nuestro interés principal es la manera en que se expresan las ideas científicas. Estas últimas han de expresarse con términos entendibles para todos, no solamente para los maestros, investigadores de la educación y científicos, sino también para los padres y otras personas que tengan que ver con la educación de los estudiantes. Las descripciones de la progresión hacia las grandes ideas, como las que aparecen en la Sección 4, quizás con mayores detalles y ejemplos, constituyen una manera útil de comunicar que la meta final consiste en comprender las relaciones y no una serie de datos o una colección de “pequeñas ideas”. El documento curricular también debe dejar en claro que el proceso de desarrollar comprensión es ininterrumpido y continuo. El objetivo debe permitirles a maestros, padres y otros identificar el curso de la progresión hacia las grandes ideas, y de esta manera mostrar cómo las actividades específicas contribuyen a esta progresión.

Expresión de las grandes ideas de la ciencia

Actualmente existen ejemplos de documentos de currículos nacionales que incluyen declaraciones amplias sobre los objetivos expresados en forma de grandes ideas los cuales, aunque no son precisamente los mismos que las 10 ideas de la ciencia que hemos identificado, guardan suficiente similitud como para cumplir el mismo propósito. Por

ejemplo, las directrices que se están desarrollando para el currículo K-9 en Francia incluyen el conocimiento de que:

El universo está estructurado desde su escala más amplia (galaxias, estrellas, planetas) hasta la más pequeña (partículas, átomos y moléculas).

Sin embargo, la manera en que se dividen las metas generales en objetivos para ciertas etapas o años es lo importante al comunicar la necesidad de continuidad y progresión gradual para desarrollar las grandes ideas. Las grandes ideas deben recorrer longitudinalmente las descripciones de las metas de aprendizaje en todas las etapas. Si se ha de transmitir la noción de progresión en la comprensión, no basta con declarar lo que se va a aprender empleando temas o palabras conceptuales como "fuerza", "electricidad" o "materiales". Para ser útiles, las declaraciones deben indicar el nivel de comprensión, o las relaciones y conexiones que se pretende establecer en las etapas particulares.

La mayoría de los documentos curriculares, además de manifestar los conceptos por aprenderse, enumeran las habilidades o prácticas de indagación científica que se desarrollarán en distintas etapas. Generalmente estas dos clases de productos se listan por separado, pero algunos marcos curriculares recientemente desarrollados expresan las metas al final de las etapas o años como una combinación de habilidades y conceptos. Por ejemplo, el currículo escocés manifiesta las metas de aprendizaje con afirmaciones de tipo "Puedo...." como se ve en este extracto de los resultados relacionados con las grandes ideas de biodiversidad e interdependencia para el final del cuarto año:

Puedo ayudar a diseñar experimentos para averiguar lo que necesitan las plantas para crecer y desarrollarse. Puedo observar y registrar mis hallazgos. Por lo que he aprendido, puedo cultivar plantas sanas en la escuela.

El Marco para la Educación en Ciencias de K-12 en Estados Unidos establece los resultados en términos de "lo que pueden hacer aquellos estudiantes que demuestran comprensión", en una serie de declaraciones que combinan prácticas y conceptos generales. Por ejemplo:

Investigar las fuerzas entre dos o más imanes para identificar patrones.

Usar modelos para explicar los efectos en un sistema de las fuerzas equilibradas y no equilibradas.

La forma de estas declaraciones señala que la comprensión de las ideas se desarrollará por medio de la indagación e investigación y, al mismo tiempo, que las capacidades para la indagación se desarrollarán y utilizarán en relación con el contenido científico. Sin embargo, aunque claramente no pretenden restringir la combinación de capacidades y contenido, hay algo arbitrario en las declaraciones anteriores en cuanto a cuáles capacidades y contenido están vinculados. Es más, la complejidad de las declaraciones puede oscurecer la relación de las ideas en cada etapa con las grandes ideas en general.

El nivel de detalle

Los documentos nacionales curriculares varían respecto a los intervalos para los que se especifican las experiencias y los resultados del aprendizaje. En algunos casos lo que se va a aprender se indica año por año y en otros, solamente se expresan las experiencias y los resultados de aprendizaje durante y al final de periodos más largos de dos o tres años. Un

documento curricular detallado convierte las actividades científicas en rutinas encaminadas a “concluir el programa de estudio” para cumplir con los requisitos, en lugar de dedicar tiempo a asegurar una comprensión profunda. Demasiado detalle limita la posibilidad de que los maestros tomen nota de los intereses de los estudiantes. Más aún, entre más detallada la especificación, más problemáticas se vuelven las decisiones sobre la secuencia exacta, y mayor el riesgo de que el detalle impida ver claramente los objetivos generales: desarrollar las grandes ideas y habilidades de indagación científica. Las declaraciones de las ideas y habilidades específicas que se espera que desarrollen los estudiantes en ciertos momentos, debe justificarse en términos de progresión hacia estos objetivos generales. Esto es particularmente importante en las fronteras entre las distintas fases de la educación, como por ejemplo de primaria a secundaria. Cuando no queda explícita esta estructura, el contenido de un currículo puede parecer una mera selección arbitraria de lo que debe enseñarse con base en la tradición o lo que se puede evaluar fácilmente.

Incluir ideas *acerca de la ciencia*

La atención que se le preste a las grandes ideas sobre la ciencia en los documentos curriculares también varía. En aquellos casos en que se llegan a considerar las ideas 11 y 12 sobre la naturaleza de la ciencia, generalmente es para manifestar el supuesto de que estas ideas se desarrollan a través de la práctica de la investigación e indagación científicas. Es decir, que las oportunidades para desarrollar habilidades científicas también constituyen oportunidades para reflexionar sobre cómo se construye el conocimiento científico a través de esas actividades. Sin embargo, se necesitan referencias más explícitas en los marcos curriculares (y no como las referencias de los objetivos relacionados con “trabajar científicamente” que se encuentran en el currículo nacional de Inglaterra), porque de otro modo estas oportunidades fácilmente se pueden pasar por alto al planificar los programas de estudio.

Las grandes ideas 13 y 14, acerca de la relación entre la ciencia y otras materias STEM y la aplicaciones de la ciencia, se incluyen de diversas maneras. En unos casos es por medio de las referencias cruzadas, generalmente entre los documentos de ciencia y matemáticas. Sin embargo, estos vínculos suelen contemplarse como opcionales a la hora de planificar los programas para el aula; un trabajo que realizan maestros en lo individual o grupos que tratan una sola disciplina, en lugar de que haya una planificación con equipos multidisciplinarios, cuyos miembros aporten su experiencia especializada para que juntos creen experiencias de aprendizaje coordinadas. Otro método consiste en incorporar referencias a las aplicaciones de la ciencia en la descripción de los objetivos generales. Por ejemplo, la discusión de preguntas morales y éticas surgidas de los avances tecnológicos relativos al ADN. Una tercera manera, y quizás la más efectiva, consistiría en convertir los vínculos entre los dominios de las materias en parte integral del marco curricular. Un ejemplo de lo anterior se ve en el *Marco para la educación en ciencias de K-12*, en el que la ingeniería y las aplicaciones de la ciencia se identifican como idea disciplinaria fundamental, al igual que las ciencias físicas y de la vida. No obstante todavía queda por verse hasta dónde señalarán estos distintos intentos la creciente importancia de conocer los vínculos entre la ciencia y otras disciplinas, particularmente la tecnología, ingeniería y las matemáticas.

La comprensión del maestro de las grandes ideas

Las implicaciones para el contenido del currículo, la pedagogía y evaluación comentadas en la Sección 5 ponen en evidencia las demandas que impone a los maestros el objetivo de asegurar que el aprendizaje científico de los estudiantes se vaya integrando gradualmente en un todo coherente, y que no se quede en una serie de datos inconexos. Esto tiene consecuencias para maestros de primaria y secundaria, para formadores de maestros e investigadores.

Los maestros de primaria enfrentan retos particulares en relación con las grandes ideas en ciencia. Primeramente, las actividades de los niños pequeños generalmente se enfocan en explorar su entorno local y las cosas vivas y no vivas que éste contiene. Estas investigaciones y observaciones conducen a ideas “pequeñas” cuya conexión con las grandes ideas de la ciencia podría parecer tenue. Por ello, a nivel primaria resulta más difícil tener en mente los vínculos con las grandes ideas. Segundo: en muchos casos la educación en ciencias de los propios maestros los ha dejado hasta cierto punto sin captar las grandes ideas y sin oportunidad para comprender cómo los elementos de información con que cuentan pueden vincularse entre sí. Por lo tanto es muy probable que estén poco preparados para ver los vínculos entre las ideas desarrolladas en las actividades en el aula y las ideas de aplicación más amplia, y consecuentemente no están en posición para ayudar a los estudiantes a desarrollar las grandes ideas. Otra dificultad consiste en la falta de confianza para enseñar ciencias porque se tiene poca exposición personal a las actividades científicas y a la comprensión que surge de esa experiencia.

Por otro lado, los maestros de primaria tienen algunas ventajas. Como enseñan todas las disciplinas, tienen la ventaja de mantener relaciones más estrechas con sus alumnos que los maestros especializados de secundaria. Además, sabiendo que no son expertos, los maestros de primaria suelen preparar las actividades científicas prácticas con mucho cuidado y brindan a sus alumnos experiencias cautivadoras que disfrutan y esto les ayuda a responder positivamente a la ciencia. La desventaja consiste en que el enfoque en “hacer” puede restarle al diálogo y pensamiento necesarios para conducir a la comprensión.

En la escuela secundaria los vínculos entre las actividades de aprendizaje y las grandes ideas habrán de ser más obvios que para el nivel primaria. Empero, los maestros de secundaria enfrentan el reto de la indagación en el contexto de un currículo sobrecargado. Esto aunado a que sus conocimientos podrían ser limitados en un área particular de la ciencia (por ejemplo, un maestro con formación en biología que tenga que enseñar ciencias físicas), o a que tal vez le falte experiencia de primera mano en actividades científicas que le darían confianza para enseñar ideas acerca de la ciencia. Enseñar todos los campos de la ciencia es desafiante para cualquiera, incluyendo los científicos preparados. Por ello los maestros deben tener oportunidades de educación continua a fin de responder a estos retos siempre presentes.

Abordajes de desarrollo profesional

Idealmente todos los maestros deberían contar con una comprensión personal de las grandes ideas *de* la ciencia y *acerca de* la ciencia. La ausencia de esta comprensión por falta de educación escolar en ciencias representa un reto considerable para la formación inicial o desarrollo profesional continuo del maestro. Por supuesto, toda la educación en ciencias no

puede condensarse en el tiempo limitado del que se dispone en los cursos de educación inicial del maestro. Sin embargo, tanto los maestros en servicio como los maestros en formación, son adultos inteligentes. Tienen una experiencia y un conocimiento relevantes bastante más amplios de lo que ellos mismos piensan. Como adultos (y debe recalcarse que éste no es un método apropiado para los estudiantes de nivel escolar) interactuar con las grandes ideas de una manera descriptiva puede ayudarles a encontrarle sentido a su experiencia. Puede permitirles reunir fragmentos de conocimiento recordado y, por cierto, proporcionales placer al entender asuntos que antes parecían más allá de su comprensión.

Aquí el “abordaje” va mucho más allá de leer y comentar descripciones narrativas de las grandes ideas como las de la Sección 4. Tomará en cuenta las ideas vigentes de que el aprendizaje se produce en las interacciones entre aprendices, tanto adultos como niños. La discusión con otros acerca de las ideas manifestadas en las narrativas permite a los maestros aprovechar sus experiencias y las de los otros para dar sentido a la “historia” que se desarrolla. La comprensión de cada persona es influida por los puntos de vista de los otros como parte de una interacción constante entre cada individuo y el grupo. Es poco probable que co-construir las ideas de esta manera social haga que se capten plenamente las grandes ideas; sin embargo, puede iniciar un proceso continuo de profundización de la comprensión, que habilitará a los maestros para ayudar a los estudiantes en su progreso.

Tales experiencias deben ir acompañadas del compromiso de los maestros por aprender algo de ciencia a través de la indagación, según su propio nivel, a fin de comprender la naturaleza de la indagación científica al participar en ella. Por tanto, maestros y personal en capacitación, necesitan tiempo y oportunidades para cuestionar e investigar algo sencillo en sus vidas cotidianas, como podría ser: ¿por qué tienen varias capas las toallas de papel?, ¿por qué flota el hielo?, ¿por qué se humedece el exterior de una lata de bebida cuando se saca del refrigerador? En estas actividades a los maestros no se les pide que interpreten roles, sino que se conviertan en auténticos investigadores de estos fenómenos comunes. Al reflexionar sobre lo que entienden inicialmente, lo que investigan y cómo lo investigan, los maestros pueden adquirir una perspectiva de cómo se crea el conocimiento científico. Esto los prepara para ayudar a sus estudiantes a comprender tanto ideas *acerca de* la ciencia (las ideas 11 y 12 en particular), como las ideas *de* la ciencia.

Las experiencias de aprendizaje de primera mano en los cursos para maestros son tan importantes como proporcionarles apoyo continuo para que sigan desarrollando su comprensión sobre la ciencia y sobre la pedagogía eficaz, en una forma que les sea accesible a lo largo de sus vidas activas. Internet puede desempeñar un papel clave como fuente de información, de preferencia a manera de publicaciones electrónicas hechas ex profeso para responder a las necesidades de los maestros. Además, se puede proporcionar una comprensión personal de la ciencia y cómo enseñar conceptos particulares mediante el contacto directo con científicos y maestros con mayor experiencia. Se ha comprobado que los maestros aprenden eficazmente de otros maestros y que acceder a sus prácticas constituye parte importante de los muchos aspectos de interacción relacionados con la implementación de los cambios necesarios para trabajar hacia las grandes ideas por medio de la enseñanza basada en la indagación.

Dos áreas que requieren mayor estudio son el análisis de las necesidades de desarrollo profesional de los maestros y saber cómo atenderlas en casos particulares. Sin embargo, en la siguiente sección ofrecemos algunas ideas preliminares sobre cómo identificar aquellos

aspectos de sus prácticas en las que los maestros podrían necesitar apoyo respecto a la enseñanza para las grandes ideas.

La evaluación formativa de la enseñanza de las grandes ideas

Aquí la palabra evaluación se enfoca en la enseñanza y no en el aprendizaje de los estudiantes. Tiene como propósito coleccionar y usar información para mejorar la enseñanza de aquellos aspectos de la práctica en el aula que permiten a los estudiantes desarrollar su comprensión de las grandes ideas. Aquí no nos preocupan todas las características de la práctica eficaz en la educación en ciencias, únicamente esta parte clave, aunque incluirá muchos de los elementos del aprendizaje basado en la indagación puesto que están estrechamente relacionados con el desarrollo de comprensión profunda.

Los indicadores de estudiantes trabajando hacia las grandes ideas

En este contexto la evaluación formativa significa recolectar y usar información sobre los aspectos relevantes de la enseñanza para identificar dónde la práctica cumple con las expectativas y dónde podrían necesitarse mejoras. A este respecto tiene un propósito similar en su relación con la enseñanza al que tiene con el aprendizaje del estudiantes. Mientras que el aprendizaje se evalúa con respecto a las metas de las actividades, la enseñanza se evalúa con respecto a sus indicadores o estándares de práctica eficaz en el aula. El primer paso en la evaluación, por lo tanto, consiste en establecer dichos indicadores. Éstos se pueden expresar en términos de las actividades y maneras de trabajar de los estudiantes que fomentan su comprensión de las grandes ideas. Por ejemplo, los indicadores de buena práctica tenderán a incluir oportunidades para los estudiantes como las siguientes:

- entender el propósito de sus actividades;
- explorar informalmente nuevos temas sobre los fenómenos y “jugar con las ideas” como preámbulo para realizar una investigación más estructurada;
- establecer vínculos entre las experiencias nuevas y las previas;
- trabajar en colaboración con otros, comunicando sus propias ideas y considerando las de otros;
- presentar evidencias para sustentar sus argumentos;
- participar en discusiones defendiendo sus ideas y explicaciones;
- aplicar su aprendizaje en contextos de la vida real; y
- reflexionar con autocrítica sobre los procesos y resultados de sus indagaciones.

Sin embargo, las oportunidades que tengan los estudiantes para vivir estas experiencias dependerán de la planificación de los maestros y de cómo éstos lleven dichos planes a la acción. Por ello, utilizar indicadores relacionados con la enseñanza representa un método más directo para identificar dónde pudieran requerir ayuda los maestros. Una serie de indicadores que describan los aspectos acordados de la práctica podría cumplir un doble propósito: señalar la información que se debe recolectar y servir de criterios para juzgar si la enseñanza cumple o no con los estándares esperados.

Los indicadores de la enseñanza hacia las grandes ideas

Las siguientes sugerencias ilustran indicadores y el proceso de evaluación en relación con la enseñanza encaminada a desarrollar las grandes ideas. Los indicadores que se usen en la práctica deberán emerger de las discusiones entre maestros acerca de cómo se describirá la enseñanza que tenga este objetivo. Estas discusiones cumplirán una función formativa ayudando a los maestros a desarrollar su comprensión de lo que está involucrado, y al mismo tiempo asegurando que la evaluación sea completamente abierta para que todos los interesados conozcan las razones para recolectar las evidencias y el uso que se les dará. Es importante que los maestros conozcan la base de la evaluación si es que voluntariamente han de participar en la revisión de sus prácticas.

Expresar los indicadores como preguntas tiene mucha utilidad. Por ejemplo, ¿el maestro...

- ...tiene una idea clara de cómo es que las actividades de los estudiantes les ayudan a entender una o más de las grandes ideas?
- ¿Les da tiempo a los estudiantes para explorar situaciones nuevas y comentar sus ideas iniciales de manera no estructurada?
- ¿Ayuda a los estudiantes a reconocer los vínculos entre sus experiencias e ideas nuevas y previas?
- ¿Conversa con los estudiantes acerca de la manera en que las ideas surgidas de sus indagaciones se relacionan con experiencias en sus vidas diarias?
- ¿Conscientemente construye ideas más grandes demostrando como ciertas ideas pueden explicar una gama de sucesos o fenómenos?
- ¿Habla con los estudiantes de cómo la recolección y uso de datos les permite comprobar ideas de maneras similares a las de los científicos?
- ¿Ayuda a los estudiantes a reflexionar sobre sus investigaciones y elaborar ideas acerca de la naturaleza de la actividad científica?
- ¿Asegura que los estudiantes aprendan a partir de la experiencia con ideas o construcciones que “no sirven” para que no las consideren fracasos?
- ¿Se da oportunidad para hablar de cómo se usan las ideas científicas en las investigaciones científicas o en los adelantos de la ingeniería que aparecen en las noticias?
- ¿Usa, de acuerdo con las edades de los estudiantes, ejemplos de la historia para demostrar cómo han cambiado las ideas científicas y los motivos de dichos cambios?

Recolectando información para evaluar la enseñanza

Los propios indicadores señalan fuentes de información útiles para la evaluación. Entre ellas: la planeación de las lecciones que hacen los maestros; sus registros del avance de los estudiantes; los cuadernos de los alumnos; hablar con los estudiantes; y, de ser posible, observar la enseñanza. Resulta útil que alguien (un mentor, instructor de maestros u otro maestro) observe la enseñanza. Los maestros podrían colaborar, observándose mutuamente al impartir sus lecciones, para reunir información relativa a los indicadores. No obstante, si no es posible contar con la ayuda de un observador, los maestros pueden obtener información útil revisando sus propios planes, notas y registros (incluyendo videos de sus lecciones) y reservando un tiempo para hablar con los estudiantes y así saber lo que

piensan de su trabajo. Ciertamente, los maestros que no estén acostumbrados a que haya otra persona en el aula, podrían preferir la autoevaluación, al menos al principio.

Los cuadernos de los estudiantes, al alcance de maestros y observadores, constituyen valiosas fuentes de información acerca de las actividades de los estudiantes, y brindan un registro de lo que se ha impartido en materia de ciencias y cómo se ha llevado a cabo. El análisis de los cuadernos de los estudiantes puede brindar evidencias de la comunicación, comprensión conceptual y procedimental de los estudiantes, así como de la calidad de la retroalimentación que le da el maestro.

Interpretación de la información de evaluación

Por supuesto que los maestros no ofrecerán en cada lección o secuencia de actividades todas las experiencias indicadas en listas como la anterior. Sin embargo, cuando falten evidencias acerca de ciertos puntos durante cierto tiempo será importante preguntarse, ¿por qué no la hay? si es que la evaluación ha de servir para cumplir un propósito formativo. Las razones podrían señalar la ayuda que se necesita en algún área de conocimiento del contenido o pedagogía. La evaluación de este tipo es particularmente relevante como parte del desarrollo profesional cuando se están introduciendo cambios muy fundamentales a la enseñanza; cambios como la enseñanza basada en la indagación y trabajar con las grandes ideas. No siempre se tiene que abordar toda la gama de indicadores, pero éstos sí pueden utilizarse para obtener retroalimentación sobre aquellos aspectos particulares de la práctica que el maestro esté tratando de cambiar. Es esencial que el maestro mantenga el control del proceso que debe contemplarse como parte del aprendizaje profesional y no un medio para juzgar el desempeño del maestro.

Comentario de conclusión

Implementar cualquier cambio en la educación o cualesquiera otras áreas de actividad depende de varios factores: reconocer la necesidad del cambio; creer que el cambio propuesto producirá el efecto deseado; y aceptar las consecuencias para los muchos factores interconectados que determinan la práctica educativa.

Las razones para el cambio en educación en ciencias se pusieron en evidencia en los reportes de las percepciones negativas que tenían los estudiantes acerca de su valor y el interés que les merecía. El principal factor responsable de lo anterior son los currículos sobresaturados de contenido y de detalles, así como las evaluaciones dominadas por exámenes que fomentan la enseñanza de datos inconexos y el apego a métodos de enseñanza que inhiben el cambio hacia una pedagogía basada en la indagación. Como resultado, en muchas partes del mundo la educación en ciencias ha fallado en preparar a los jóvenes para un mundo que se transforma rápidamente por la aplicación de la ciencia a la tecnología y a la ingeniería. Esta preparación requiere que todos, no solamente aquellos que vayan a dedicarse a ocupaciones de tipo científico, obtengan una comprensión general de las ideas clave *de* y *acerca de* la ciencia que les permita participar, como ciudadanos informados, en las decisiones que afecten su propio bienestar y el de otros.

En este documento hemos reiterado y detallado la justificación para enmarcar los objetivos de la educación en ciencias en una serie de ideas globales (las llamadas grandes ideas) porque explican diversos fenómenos relacionados. Hemos señalado los argumentos y

brindado evidencias de los beneficios potenciales que se podrían obtener de identificar una cantidad pequeña de ideas poderosas; entre ellas y no de menor importancia, el reservar espacio para la implementación de una pedagogía basada en la indagación. Facultar a los estudiantes para la experiencia y valoración de recolectar y utilizar evidencias en las actividades científicas es central para desarrollar comprensión del mundo que nos rodea y para comprender cómo le damos sentido. Manifestamos que es necesario un currículo enmarcado dentro de las grandes ideas para poder adoptar un enfoque basado en la indagación.

Cambiar la manera en que se conciben y expresan los objetivos de la educación en ciencias exige más que la mera revisión de documentos curriculares. Muchas prácticas interconectadas influyen sobre lo que ocurre en el aula. Las principales, aquí tratadas, consisten en la evaluación del alumno, la formación y la pedagogía del maestro. Sin embargo, muchos otros factores también influyen, entre ellos, la manera en que se organizan las escuelas, la forma en que se valoran y evalúan la enseñanza y los maestros, el rol y las expectativas de los padres, el apoyo brindado por las autoridades administrativas y los inspectores locales, y por supuesto, la política gubernamental. Un cambio verdadero exige la coordinación de todas estas fuentes de influencia. Finalmente, los maestros son los responsables de las experiencias de aprendizaje de los alumnos, pero ellos solos no pueden efectuar un cambio verdadero. En muchos casos se requiere de un cambio en las políticas para que las prácticas existentes no repriman a la innovación.

Perfiles de los participantes en el seminario

Derek Bell

El profesor Derek Bell es maestro, investigador, consejero y defensor de mejorar y enriquecer la educación para todos. Trabajó en escuelas y universidades antes de convertirse en el director ejecutivo de la Asociación para la Educación en Ciencias (ASE; Association for Science Education) y director de educación del Wellcome Trust. Se mantiene muy activo en la educación en el ámbito nacional e internacional a través de su consultora (Campanula Consulting), en su trabajo de comité y asesoría. Asimismo tiene numerosas publicaciones. Actualmente es consejero de IBM Trust UK, Understanding Animal Research y del Centre of the Cell en el Reino Unido, miembro del Comité de Educación del Panel Interacademias y en el panel de jueces de la Competencia para Científicos Jóvenes de la Unión Europea. En 2011 la Universidad Metropolitana de Manchester le otorgó un doctorado honorario en Educación. Derek es el Director de LEARNUS, Profesor de Educación en el College of Teachers e investigador asociado visitante en el Instituto de Educación UCL, en Londres.

Rosa Devés

La Profesora Rosa Devés obtuvo su doctorado en bioquímica de la University of Western Ontario. Posteriormente se integró al Departamento de Fisiología y Biofísica de la Facultad de Medicina, de la Universidad de Chile. Enseñó fisiología celular a nivel universitario y posgraduado y participó en el desarrollo de la educación de posgrado, incluyendo la fundación de un programa de doctorado en ciencias biomédicas que ella dirigió durante dos períodos de cinco años. También contribuyó al establecimiento del Instituto para Ciencias Biomédicas que resultó en la fusión de doce departamentos de ciencias básicas y preclínicas. Fue vicedirectora del Instituto de 1997 a 2000.

Paralelamente a su carrera científica y académica, ella ha trabajado por mejorar la educación en ciencias en las escuelas. Entre 1999 y 2002 colaboró con la Unidad de Currículos y Evaluación del Ministerio de Educación como coordinadora de los equipos de ciencia que estaban desarrollando los nuevos currículos. En colaboración con las Academias de las Ciencias de Estados Unidos y Francia, en 2003 inició con el profesor Jorge Allende el Programa ECBI (Educación en Ciencias Basada en la Indagación) que trabaja en alianza con el Ministerio de Educación, la Academia de las Ciencias y las universidades con objeto de llevar educación en ciencias de calidad a todos los niños.

Como Prorrectora de la Universidad de Chile, de 2010 a 2014 dirigió dos proyectos que condujeron al desarrollo de la educación como un área estratégica de la Universidad y al fortalecimiento de la equidad e inclusión a fin de generar más oportunidades para los estudiantes de extracción menos privilegiada. En julio 2014 se le nombró Vicerrectora de Asuntos Académicos en la Universidad de Chile. Desde 2003 ella ha sido miembro correspondiente de la Academia Chilena de las Ciencias.

Hubert Dyasi

El profesor Hubert M. Dyasi, Ph.D., es educador de maestros especialista en ciencias. Él ha diseñado, dirigido e implementado programas de educación en ciencias basados en la indagación en todo el mundo y ha ofrecido presentaciones profesionales revisadas por sus pares en numerosas conferencias y reuniones. Asimismo, ha contribuido con capítulos y

coescrito libros tales como: *America's Lab Report* (National Academy Press, 2005); *Designing Professional Development for Teachers of Science and Mathematics* (Corwin Press, 2003); *Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning* (National Academy Press, 2000); y *The National Science Education Standards* (National Academy Press, 1996). Se le ha distinguido con premios como: Servicio Distinguido a la Educación en Ciencias, Educador Sobresaliente, membresía en el Comité del Consejo Nacional de Investigación de la Educación en Ciencias K-12 e investigador visitante del Instituto Tecnológico de California y en All Souls College (Universidad de Oxford). Él es becario del Instituto Nacional para la Educación en Ciencias y miembro del consejo del programa de Educación en Ciencias del IAP (Inter-Academy Panel).

Guillermo Fernández de la Garza

Guillermo Fernández de la Garza es presidente y director ejecutivo de la Fundación México-Estados Unidos para la Ciencia (FUMEC), una organización sin fines de lucro patrocinada por los gobiernos de Estados Unidos y México. En FUMEC él ha trabajado para desarrollar agrupaciones regionales binacionales de innovación en campos como el aeroespacial, CTI y manufactura avanzada. Además ha facilitado la innovación en empresas pequeñas y medianas. Es graduado en ingeniería y física de la Universidad Nacional Autónoma de México. Tiene una maestría en ingeniería económica por la Universidad de Stanford y ha realizado estudios avanzados en ingeniería nuclear y administración de empresas en el IPN e IPADE. Ha trabajado en programas de innovación con la industria, las universidades y el gobierno.

Guillermo ha hecho contribuciones notables a la divulgación de la ciencia y a la educación en ciencias. Fue miembro fundador de la Sociedad Mexicana para la Divulgación de la Ciencia y la Técnica (SOMEDICyT) y reunió a un equipo de científicos, educadores y líderes empresariales que fundaron CHISPA, una revista científica para niños que se publicó mensualmente en México de 1978 a 1998. CHISPA ganó premios en México y en el extranjero. La Secretaría de Educación en México todavía distribuye algunos artículos de la revista. Las reuniones de científicos y niños que organizó CHISPA terminaron por convertirse en "Sábados y domingos en la ciencia", programa que ha operado la Academia Mexicana de Ciencias.

En 2002, con el apoyo de FUMEC, inició el establecimiento de INNOVEC, Innovación en la Enseñanza de la Ciencia, una organización no lucrativa que ha sido instrumental en la aplicación de los Sistemas de Enseñanza Vivencial e Indagatoria de la Ciencias en las escuelas públicas mexicanas. Conjuntamente con la Secretaría de Educación Pública y la Academia Mexicana de las Ciencias organizó las actividades iniciales para probar en México el currículo de Ciencia y Tecnología para Niños. En el 2008 a Guillermo se le otorgó el premio Purkwa de la Academia Francesa de las Ciencias y la Escuela de Minería Saint Étienne por prácticas innovadoras en la educación en ciencias.

Wynne Harlen

La Profesora Wynne Harlen ha ocupado varios puestos como maestra, educadora de maestros e investigadora de educación en ciencias y evaluación desde que se graduó de física de la Universidad de Oxford. En 1985 se le nombró Sydney Jones Professor of Education en la Universidad de Liverpool, donde estableció el Centro para la Investigación y Desarrollo de las Ciencias en Primaria. En 1990 se mudó a Edimburgo para convertirse en la directora del Consejo Escocés para la Investigación en Educación hasta 1999. Ahora trabaja desde su casa en Escocia como consultora. Ella ha dirigido varios proyectos de investigación, desarrollo profesional y desarrollo curricular, además de haber publicado varios libros sobre educación en ciencias y evaluación.

Wynne ha sido miembro vitalicio y ahora honoraria de la Asociación para la Educación en Ciencias del Reino Unido (ASE, por sus siglas en inglés) para la que editó el Primary Science Review 1999-2004. Fue su presidente en 2009. Fue la primera presidente del Grupo Experto en Ciencias de OCDE PISA (1998-2003) y de un grupo de trabajo de la Royal Society (Informe a la Nación sobre Educación en Ciencias y Matemáticas 5-14). La Reina la distinguió con la OBE (Orden del Imperio Británico) por sus servicios a la educación en 1991. Por otro lado, la ASE le entregó a Wynne un premio especial por sus servicios distinguidos a la educación en ciencias en 2001. En 2008 junto con Guillermo Fernández de la Garza, se le entregó el premio Internacional Purkwa y en 2011 recibió un reconocimiento especial de la Secretaría de Educación Pública de México e INNOVEC por promover educación en ciencias basada en la indagación.

Pierre Léna

El maestro Pierre Léna es Profesor Emérito de astrofísica en la Université Paris Diderot. En el Observatoire de Paris ha contribuido a la astronomía infrarroja, al European Very Large Telescope (VLT) en Chile, a nuevas técnicas ópticas aplicadas a las imágenes astronómicas. Durante muchos años dirigió la escuela de posgraduados de Astronomía y Astrofísica d'Ile-de-France. Es miembro de la Academia Francesa de las Ciencias, de la Academia Europea y de la Pontificia Academia de las Ciencias.

Desarrolló su participación en la educación como presidente del Institut national de recherche pédagogique (1991-1997). Junto con el galardonado con el Premio Nobel Georges Charpak, Pierre Léna encabezó una reforma de la educación en ciencias en las escuelas primarias de Francia, el proyecto basado en indagación, La main à la pâte, apoyado por la Académie des sciences. El proyecto desarrolló procedimientos y recursos para el aula y fue oficialmente reconocido en el currículo francés en 2002. El éxito llevó a la Académie des sciences a establecer en 2005 una oficina permanente para manejar estos proyectos, incluyendo la capacitación de maestros. Pierre la dirigió hasta 2011. Desde 2012, la Académie, junto con las Ecoles normales supérieures (París y Lyon) creó la Fondation de coopération scientifique La main à la pâte, con 25 empleados dedicados a la educación en ciencias, cooperación internacional y un esfuerzo limitado de investigación. Cada año se publican libros y otros recursos, y se organiza una sesión de capacitación. Pierre fue el primer presidente de 2011-2014. Ver: www.fondation-lamap.org y www.academie-ciencias.fr/enseignement/generalites.htm

Robin Millar

Robin Millar es Profesor Emérito de educación en ciencias en la Universidad de York, Inglaterra. Con un título en física teórica y un doctorado en física médica, se capacitó como maestro y durante ocho años enseñó física en las escuelas secundarias de Edimburgo antes de irse a la Universidad de York en 1982.

Robin ha publicado ampliamente sobre muchos aspectos de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. Sus áreas principales de investigación incluyen el aprendizaje de ciencias de los estudiantes, diseño y desarrollo de currículos en ciencias y evaluación del aprendizaje científico. Ha dirigido varios proyectos de investigación sobre trabajo práctico de investigación en ciencias, y las imágenes de la ciencia de los jóvenes. De 1999 a 2004 fue coordinador de la *Evidence-Based Practice in Science Education* (EPSE) Research Network. Ha participado en varios proyectos importantes de desarrollo curricular, incluyendo *Science for Public Understanding*, y la serie de cursos para estudiantes de secundaria, *Twenty First Century Science*.

De 1996 al 2000, Robin fue miembro del grupo del Reino Unido en el proyecto de la UE *Labwork in Science Education*; y en 2006 y 2015 miembro del Grupo Experto en Ciencias para el Programa

para la Evaluación Internacional de estudiantes (PISA) de la OCDE. De 1999 a 2003 fue presidente de la Asociación Europea para la Investigación sobre la Enseñanza de la Ciencia (ESERA) y en 2012 presidente de la Asociación para la Educación en Ciencias del Reino Unido.

Michael Reiss

Michael Reiss es Profesor de educación en ciencias en el Instituto de Educación de UCL, profesor visitante en las Universidades de Leeds y York y del Royal Veterinary College, miembro honorario de la Asociación Británica de Ciencias y del Colegio de Maestros, docente en la Universidad de Helsinki, director del proyecto Salters-Nuffield Advanced Biology, y miembro de la Academia de Ciencias Sociales. El ex director de educación de la Royal Society ha escrito mucho sobre currículos, pedagogía y evaluación en la educación en ciencias. Asimismo, en los últimos veinte años ha dirigido una gran cantidad de proyectos de investigación, evaluación y consultoría financiados por consejos de investigación de Reino Unido, departamentos gubernamentales, beneficencias y organismos internacionales. Mayores informes en www.reiss.tc.

Patricia Rowell

Patricia M. Rowell es Profesora Emérita en el Departamento de Educación Básica de la Universidad de Alberta. Sus áreas de interés en la investigación se concentran en la naturaleza de las estrategias discursivas empleadas en la enseñanza y aprendizaje de la ciencia a nivel primaria en entornos tanto formales como informales. Sus investigaciones han sido financiadas por una serie de subvenciones federales. Ella es miembro fundador del Centro para la Educación en Matemáticas, Ciencia y Tecnología en la Universidad de Alberta, y ha tenido a su cargo la producción de los recursos basados en la indagación para el maestro que se distribuyen en toda la provincia. Ella se ha desempeñado como educadora en ciencias en Namibia y Botswana (2 años en cada país), y ha realizado talleres en Sudáfrica, China, Chile y Australia. Pat se ha titulado en bioquímica (B.Sc. Honours, Londres; M.Sc., Oxford) y en educación en ciencias (B.Ed., Ph.D., Universidad de Alberta).

Wei Yu

Wei Yu es Profesora y fundadora de Key Laboratory of Child Development and Learning Science del Ministerio de Educación, en la Southeast University, China. Durante su larga carrera como maestra e investigadora en electrónica, ha acumulado logros notables como el desarrollo de bioelectrónica y electrónica molecular y biomolecular puesta a tierra. También ha hecho contribuciones importantes a la reforma de la educación superior y enseñanza a distancia en China de 1993-2002 cuando fungió como viceministra en el Ministerio de Educación.

Desde 1994 ha trabajado activamente en la reforma escolar de la educación en ciencias como miembro de ICSU-CCBS (1994-2001) y del programa de educación en ciencias de la IAP desde el 2002. Wei Yu ha desarrollado nuevas investigaciones interdisciplinarias estableciendo puentes entre la neurociencia y la educación. Al mismo tiempo introdujo a China el método *Learning by Doing* (Aprender haciendo) de educación en ciencias basado en la indagación y fundó la página web, www.handsbrain.com. Presidió el Comité de Revisión de la Norma Nacional de la Educación en Ciencias en Escuelas Primarias en China. En 2010 ella y su equipo obtuvieron el primer lugar en el Premio Nacional a la Reforma Educativa en la Educación Básica China. La Academia Francesa de Ciencias y la Escuela de Minería Saint Etienne le otorgaron el premio Purkwa por sus prácticas innovadoras en la educación en ciencias. Es académica de CEA y ha recibido doctorados honorarios de nueve universidades fuera de China continental.

Referencias bibliográficas

- AAAS (American Association for the Advancement of Science) (1993) *Benchmarks for Science Literacy. Project 2016*. Oxford: Oxford University Press.
- AAAS (2001) *Atlas of Science Literacy*. Washington, DC: AAAS and NSTA.
- Abrahams, I., and Reiss, M. J. (2012) Practical work: its effectiveness in primary and secondary schools in England, *Journal of Research in Science Teaching*, 49(8), 1035-1055.
- Alberts, B. (2008) Considering science education. Editorial, *Science*, 319, March 2008.
- Alexander, R. (ed.) (2010) *Children, their World, their Education. Final report and recommendations of the Cambridge Primary Review*. London: Routledge.
- Biosciences Federation (2005) *Enthusing the Next Generation*. London: Biosciences Federation.
- Bransford, J.D., Brown, A. and Cocking, R.R. (eds) (2000) *How People Learn, Brain, Mind, Experience and School*. Washington, DC: National Academy Press.
- Bruner, J.S. (1960) *The Process of Education*. New York: Vintage Books.
- Butler, R. (1988) Enhancing and undermining intrinsic motivation: the effects of task-involving and ego-involving evaluation on interest and performance, *British Journal of Educational Psychology*, 58(1), 1-14.
- Carnegie and Institute for Advanced Study (2010) *The Opportunity Equation Transforming Mathematics and Science Education for Citizenship and the Global Economy*. New York: Carnegie IAS.
- Concoran, T., Mosher, F.A. and Rogat, A. (2009) *Learning Progressions in Science*. Philadelphia, PA: Centre on Continuous Instructional Improvement, Teachers College, Columbia University.
- Devés, R. (2009) Science Education Reform in Chile (1990-2009) Paper prepared for the 2009 Loch Lomond Seminar.
- Duncan, R.G., Rogat, A.D. and Yarden, A. (2009) A learning progression for deepening students' understandings of modern genetics across the 5th–10th grades. *Journal of Research in Science Teaching*, 46 (6), 655–674.
- Duschl, R. A., Schweingruber, H.A. Shouse, A.W. (2007) *Taking Science to School: Learning and Teaching Science in Grades K-8*. Washington DC: The National Academies Press.
- European Commission (2007) *Science Education Now: A renewed Pedagogy for the Future of Europe*. (Rocard Report) Brussels: European Commission.
- Fernandez de la Garza, G. (2009) Brief overview of the evolution of the science curriculum for the elementary schools in Mexico. Paper prepared for the 2009 Loch Lomond Seminar.
- Gustafson, B.J. and Rowell, P.M. (2000) Big ideas (and some not so big ideas) for making sense of our world. A resource for Elementary Science Teachers. Edmonton: University of Alberta.
- Harlen, W. (2013) *Assessment and Inquiry-Based Science Education: issues in policy and practice*. Global Network of Science Academies (IAP) Science Education Programme: Trieste, Italy.
www.interacademies.net/activities/projects/12250.aspx
- Harlen, W. (2009) Teaching and learning science for a better future, *School Science Review*, 90 (333), 33 –41.
- Honey, M., Pearson, G. and Schweingruber, H. (eds) (2014) *STEM Integration in K-12 Education: Status, prospects and an agenda for research*. Washington DC: The National Academies Press.
- Howard-Jones, P., Pollard, A., Blakemore, S-J., Rogers, P., Goswami, U., Butterworth, B., Taylor, E., Williamson, A., Morton, J. and Kaufmann, L. (2007) *Neuroscience and Education: Issues and Opportunities*, London: TLRP/ESRC.
- La main à la pâte (1998) Ten principles of teaching. <http://www.fondation-lamap.org/fr/page/105/principes-et-enjeux>
- La main à la pâte (2014) www.fondation-lamap.org
- Le Socle commun des connaissances et des compétences (France, 2006).
http://cache.media.eduscol.education.fr/file/socle_commun/00/0/socle-commun-decret_162000.pdf

- Learning and Teaching Scotland/SQA (nd) *Curriculum for Excellence: Sciences experiences and outcomes*. http://www.educationscotland.gov.uk/Images/sciences_experiences_outcomes_tcm4-539890.pdf
- Léna, P. (2009) Big ideas, core ideas in science - some thoughts. Paper prepared for the 2009 Loch Lomond Seminar.
- Mansell, W. James, M. and ARG (Assessment Reform Group) (2009) *Assessment in Schools. Fit for Purpose? A commentary by the ESRC Teaching and Learning Research Programme*. London: ARG and TLRP.
- Massachusetts Science and Technology/Engineering Curriculum Framework (October 2006). <http://www.doe.mass.edu/frameworks/scitech/1006.pdf>
- Miaoulis, I. (2010) K-12 Engineering – the Missing Core Discipline. In (eds) D. Grasso and M. Brown Burkins *Holistic Engineering Education beyond Technology*. New York: Springer.
- Millar, R. (2009) 'Big ideas' in science and science education. Paper prepared for the Loch Lomond seminar.
- Millar, R. and Osborne, J. (1998) *Beyond 2000. Science Education for the Future*. London: King's College School of Education.
- Mohan, L., Chen, J. and Anderson, C.W. (2009) Developing a multi-year learning progression for carbon cycling in socio-ecological systems. *Journal of Research in Science Teaching*, 46 (6), 675–698.
- NAEP (2008) *Science Framework for the 2009 National Assessment of Educational Progress*. National Assessment Governing Board, US Department of Education.
- NRC (National Research Council) (1995) *National Science Education Standards*. Washington DC: The National Academies Press.
- NRC (National Research Council) (2012) *A Framework for K-12 Science Education*. Washington DC: The National Academies Press.
- NRC (National Research Council) (2014) *Developing Assessment for the Next Generation Science Standards*. Washington DC The National Academies Press.
- Oates, T. (2009) Missing the point: identifying a well-grounded common core. Comment on trend in the development of the National Curriculum. *Research Matters*, October 2009.
- Oates, T. (2012) *Could do better: Using international comparisons to improve the national Curriculum in England*. Cambridge Assessment www.nationalnumeracy.org.uk/resources/30/index.html
- OECD (2007) *Understanding the Brain: The Birth of a Learning Science*. Paris: OECD.
- Pellegrino, J.W., Chudowsky, N. and Glaser, R. (eds) (2001) *Knowing what Students Know: The Science and Design and Educational Assessment*. Washington, DC: National Academy Press.
- Songer, N.B., Kelcey, B. and Gotwals, A.W. (2009) How and when does complex reasoning occur? Empirically driven development of a learning progression focused on complex reasoning about biodiversity. *Journal of Research in Science Teaching*, 46 (6), 610–631.
- Twenty-First Century Science specifications; Science Explanations and Ideas about Science http://www.ocr.org.uk/campaigns/science/?WT.mc_id=sciencecp_300310
- Wilson, M. and Draney, K. (2009) On coherence and core ideas. Paper commissioned for the NRC Board of Education meeting, August 17 2009.
- Wei Yu (2009) *A Pilot program of "Learning by Doing" in China's Science Education Reform*. Nanjing: Research Centre of learning Science, Southeast University.
- Wellcome Trust (2014) *How neuroscience is affecting education: a report of teacher and parent surveys*. www.wellcome.ac.uk/stellent/groups/corporatesite/@msh_peda/documents/web_document/WTP055240.pdf
- Zimba, J. (2009) *Five areas of core science knowledge: What do we mean by 'STEM-capable'?* Paper prepared for the Carnegie – Institute for Advanced Study Commission on Mathematics and Science Education (see Carnegie and IAS).

Hace cinco años, en 2010, la publicación de *Principios y grandes ideas de la educación en ciencias* argumentó que la educación científica de los estudiantes debería permitir desarrollar un número relativamente pequeño de grandes ideas de la ciencia y acerca de la ciencia. Desde entonces, la discusión ha sido reforzada por eventos del ámbito educativo y de la vida cotidiana. La respuesta de los usuarios en muchos países ha confirmado que las ideas identificadas siguen siendo pertinentes y se ven reflejadas en reformas de algunos planes curriculares a nivel nacional.

Sin embargo, los beneficios potenciales de una mayor profundidad en el aprendizaje, en lugar de una cobertura amplia desarticulada, dependen de cambios de práctica de clase.

Por lo tanto el seguimiento de esta publicación, reporta el trabajo adicional realizado por el mismo grupo internacional de científicos y profesores en ciencias, y da mayor atención a lo que involucra el trabajo hacia las grandes ideas. Tras una revisión de las grandes ideas, se discutieron las implicaciones para el contenido del currículo, la pedagogía, la evaluación formativa y sumativa, el desarrollo profesional y la evaluación de la enseñanza.