

# Principios y grandes ideas de la educación en ciencias

**Editado por Wynne Harlen**

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

Versión original Impresa en Gran Bretaña por Ashford Colour Press Ltd., Gosport, Hants.

Publicado por la Association for Science Education  
College Lane, Hatfield, Herts. AL10 9AA

Copyright © Wynne Harlen 2010

Las copias pueden hacerse sin costo o permiso previo siempre que se reconozca la fuente.

Disponible en la página web [www.ase.org.uk](http://www.ase.org.uk) y sitios asociados.

ISBN 978 0 86357 4

Traducción al español editada por Rosa Devés con la contribución de Jorge Allende, Juan Carlos Andrade, Sebastián Cabrera, Andrea Elgueta, Alberto Guzmán, Juan Pablo Jiménez, Katherine Malley y Pilar Reyes.

Versión en español disponible en [www.innovec.org.mx](http://www.innovec.org.mx) y [www.ciae.uchile.cl](http://www.ciae.uchile.cl)

# Principios y grandes ideas de la educación en ciencias

Editado por Wynne Harlen

## Contribución de:

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

Prefacio: <b>Diez Principios y Catorce Grandes Ideas de la Educación en Ciencias</b>	
Introducción: <b>¿Por qué “grandes ideas”?</b> _____	1
Sección Uno: <b>Principios en que se sustenta la educación esencial en ciencias</b>	6
Sección Dos: <b>Seleccionando las grandes ideas en ciencias</b> _____	18
Sección Tres: <b>Desde las pequeñas a las grandes ideas.</b> _____	27
Sección Cuatro: <b>Trabajando con las grandes ideas en mente</b> _____	46
Perfiles de los participantes en el seminario _____	56
Referencias _____	63

## Prefacio

En Octubre del año 2009, se realizó un seminario que tuvo como propósito la identificación de las ideas claves que los estudiantes deberían abordar en la educación en ciencias que les permitiesen entender, disfrutar y maravillarse con el mundo natural. La motivación para generar este seminario fue la percepción de que, con pocas excepciones, la educación en ciencias a nivel de la educación primaria y secundaria, carece de coherencia y de la noción de progresión hacia ideas más abarcadoras y fundamentales que es importante que aprendan los niños. A pesar de que los equipos encargados de desarrollar los currículos, guías y estándares a nivel nacional en varios países han lidiado con el problema de seleccionar contenidos, con frecuencia parece que la focalización en tópicos específicos más bien obscurece las ideas generales que se están intentando desarrollar - los árboles no dejan ver el bosque. Sin embargo, no es solo un problema de forma ya que muestra que aquello que enseñamos está más bien fundado en la historia que en el pensamiento nuevo.

Los participantes en el seminario – algunos científicos e ingenieros en ejercicio, otros educadores en ciencias de larga trayectoria – están todos preocupados de mejorar la educación en ciencias en las escuelas, no solo en sus propios países sino también a nivel internacional. Los breves perfiles biográficos de los participantes que se presentan al final de este informe ilustran el amplio rango de experiencias desde donde aportaron al seminario. La disposición, incluso entusiasmo, de estas personas altamente ocupadas por dar de su tiempo para viajar a Escocia y escribir o reunir documentos en preparación para este seminario, fue una demostración convincente de que había una tarea importante por hacer.

El seminario fue posible gracias al Premio Purkwa, otorgado por la Academia de Ciencias de Francia y la Escuela de Minas de Saint Etienne. Se llevó a cabo en la ribera del lago Loch Lomond durante dos días y medio. El trabajo continuó después por correspondencia y gradualmente fue surgiendo el contenido de este informe de los comentarios, modificaciones y contribuciones enviadas por los miembros del grupo. El informe es, por lo tanto, una obra conjunta de todos quienes participaron, por lo cual debemos agradecer a: Derek Bell, Rosa Devés, Hubert Dyasi, Guillermo Fernández de la Garza, Pierre Lena, Robin Millar, Michael Reiss, Patricia Rowell, Wei Yu y Juliet Miller, quien recogió los aportes hechos durante el seminario y ha sido responsable de la diagramación del presente Informe.

**Wynne Harlen**

Duns, Julio 2010

## Diez principios de la educación en ciencias

- 1 Durante todos los años de educación obligatoria, las escuelas deberían buscar en forma sistemática, por intermedio de sus programas de educación en ciencias, el desarrollo y la mantención de la curiosidad de los estudiantes acerca del mundo, el gozo por la actividad científica y la comprensión sobre cómo pueden explicarse los fenómenos naturales.
- 2 El objetivo principal de la educación en ciencias debiera ser capacitar a todos los individuos para que informadamente tomen parte en las decisiones y participen en acciones que afectan su bienestar personal y el bienestar de la sociedad y de su medio ambiente.
- 3 La educación en ciencias tiene múltiples metas y debería estar orientada a desarrollar :
  - comprensión de un conjunto de “grandes ideas” en ciencias que incluyan ideas *de* la ciencia e ideas *acerca de* la ciencia y su rol en la sociedad.
  - capacidades científicas relacionadas con la obtención y el uso de evidencias
  - actitudes científicas.
- 4 Debería establecerse una clara progresión hacia las metas de la educación en ciencias, indicando las ideas que deben lograrse en cada una de distintas etapas, en base a un cuidadoso análisis de los conceptos y de las investigaciones recientes que nos permiten entender cómo se aprende.
- 5 La progresión hacia las grandes ideas debiera resultar del estudio de tópicos que sean de interés para los estudiantes y relevantes para sus vidas.
- 6 Las experiencias de aprendizaje debieran reflejar una visión del conocimiento científico y de la indagación científica explícita y alineada al pensamiento científico y educacional actual.
- 7 Todas las actividades del currículo de ciencias deben profundizar la comprensión de ideas científicas, así como tener otros posibles propósitos, tales como propiciar actitudes y habilidades.
- 8 Los programas que guían el aprendizaje de los estudiantes, la formación inicial y el desarrollo profesional de los profesores, debieran ser consistentes con las metodologías de enseñanza y aprendizaje que se requieren para alcanzar las metas enunciadas en el Principio 3.
- 9 La evaluación juega un rol clave en la educación en ciencias. La evaluación formativa del aprendizaje de los alumnos y la evaluación sumativa de su progreso debieran aplicarse a todas las metas.
- 10 En el trabajo hacia el cumplimiento de estos objetivos los programas de ciencias de las escuelas debieran promover la cooperación entre los profesores y el involucramiento de la comunidad incluyendo la activa participación de los científicos.

## Catorce grandes ideas en la ciencia

### Ideas *de* la ciencia

- 1 Todo material en el Universo está compuesto de partículas muy pequeñas.
- 2 Los objetos pueden afectar otros objetos a distancia.
- 3 El cambio de movimiento de un objeto requiere que una fuerza neta actúe sobre él.
- 4 La cantidad de energía del universo siempre es la misma, pero la energía puede transformarse cuando algo cambia o se hace ocurrir.
- 5 La composición de la Tierra y de la atmósfera y los fenómenos que ocurren en ellas le dan forma a la superficie de la Tierra y afectan su clima.
- 6 El sistema solar es una muy pequeña parte de una de los millones de galaxias en el Universo.
- 7 Los organismos están organizados en base a células.
- 8 Los organismos requieren de suministro de energía y de materiales de los cuales con frecuencia dependen y por los que compiten con otros organismos.
- 9 La información genética es transmitida de una generación de organismos a la siguiente generación.
- 10 La diversidad de los organismos, vivientes y extintos, es el resultado de la evolución.

### Ideas *acerca* de la ciencia

- 11 La ciencia supone que para cada efecto hay una o más causas.
- 12 Las explicaciones, las teorías y modelos científicos son aquellos que mejor dan cuenta de los hechos conocidos en su momento.
- 13 El conocimiento generado por la ciencia es usado en algunas tecnologías para crear productos que sirven a propósitos humanos.
- 14 Las aplicaciones de la ciencia tienen con frecuencia implicancias éticas, sociales, económicas y políticas.

## Introducción

### ¿Por qué grandes ideas?

El reconocimiento que todos los estudiantes deberían dejar la escuela con un conocimiento básico de las ideas y procedimientos de la ciencia está bastante extendido, llegando incluso a ser universal. Sin embargo, al menos en países desarrollados, se observa que la cantidad de gente joven que sigue estudios en ciencia está disminuyendo, junto con otros signos de desinterés sobre la ciencia. Se ha reportado que muchos estudiantes señalan que la ciencia en la escuela les parece poco relevante o interesante. Pareciera que no tienen conciencia de la relación que existe entre sus actividades en la ciencia escolar y el mundo que los rodea y no ven el sentido de estudiar algo que perciben como una serie de hechos desconectados. En la práctica, el único punto que logran discernir es que deben aprobar. Si bien las pruebas y los exámenes han tenido una responsabilidad en generar la presente situación, no son la única causa.

El actual curriculum, incluso el creado en las últimas dos décadas, tiene su raíz en la historia. Cada reforma es influenciada por la anterior; no hace muchos años que la ciencia fue opcional para estudiantes de alrededor de 14 años y la ciencia a nivel de la escuela secundaria estaba diseñada para quienes irían a las especialidades de ciencia y no para todos los estudiantes. Aunque la ciencia se reconoce actualmente como importante a través de toda la escolaridad obligatoria, es difícil revertir la visión tradicional. No es de extrañar entonces que la ciencia escolar en la actualidad deje a muchos estudiantes sin posibilidad de aproximarse a las grandes ideas en la ciencia que podrían ayudarlos a entender aquello que los rodea y a tomar parte en las decisiones como ciudadanos informados en un mundo donde la ciencia y la tecnología han aumentando significativamente.

La solicitud de relevancia se escucha con frecuencia desde los estudiantes a nivel secundario, donde las ideas a ser aprendidas se hacen más abstractas que en primaria. Sin embargo, el proceso de aprendizaje en ciencias requiere de una progresiva comprensión de ideas de aplicación más amplia y, por lo tanto, inevitablemente más abstractas. Los problemas de aprendizaje surgen cuando estas ideas abstractas parecen no estar enraizadas y conectadas con experiencias más concretas desde donde puedan construirse.

En la educación básica, las actividades normalmente comienzan desde objetos y experiencias del entorno; el contexto les da la realidad y los profesores se esfuerzan para que los niños se interesen. El problema no radica en que los niños no le asignen relevancia a lo aprendido, sino más bien en la verdadera relevancia de este aprendizaje para construir un conocimiento que les sea útil no sólo en secundaria sino también para el resto de sus vidas. Existe un enorme rango de posibles tópicos y actividades, entonces, la pregunta es:

*La ciencia escolar en la actualidad deja a muchos estudiantes sin posibilidad de aproximarse a las grandes ideas de la ciencia que podrían ayudarles a entender aquello que los rodea y a tomar parte en las decisiones como ciudadanos informados*

*La meta de la educación en ciencias no es un cuerpo de hechos y teorías, es más bien una progresión hacia ideas claves que permitan entender eventos y fenómenos de relevancia para la vida del estudiante*

cómo escoge un profesor aquellos tópicos que hacen el mejor uso del limitado y precioso tiempo de aprendizaje.

Parte de la solución de este problema es entender las metas de la educación en ciencias no en términos de un cuerpo de hechos y teorías, sino más bien como una progresión hacia ideas claves, las cuales en conjunto permiten explicar eventos y fenómenos de importancia para la vida de los estudiantes, durante y más allá de sus años de escuela. Aquí las describimos como “grandes ideas” de la ciencia y este informe trata de explicar por qué las consideramos como tales, y cómo ellas pueden ser seleccionadas y ser comunicadas más efectivamente. El modo de comunicación es crucial si queremos transmitir la relación entre las ideas y la experiencia, lo cual se logra mejor de un modo narrativo que en la forma de una lista de tópicos desconectados. También es importante mostrar cómo las ideas tienen sus raíces en las exploraciones tempranas de los niños, de manera que los profesores estén conscientes de la contribución de estas actividades al desarrollo de una noción de los aspectos científicos de su entorno.

### **¿Grandes ideas a lo largo del curriculum?**

No es sólo la educación en ciencias la que puede ser mejorada vinculando hechos y cifras al desarrollo de grandes temas. Los historiadores están llamando para que eventos específicos sean relacionados con narrativas; de modo similar, se está haciendo ver que en geografía deben asociarse ideas que provienen de estudiar distintos fenómenos. Lo mismo se podría decir de muchos dominios del conocimiento, los cuales existen como tal en virtud de poseer un núcleo de conocimientos, habilidades y actitudes, pero en los cuales como en el caso de la ciencia, su naturaleza no se explicita. El expresarlos en términos del desarrollo de grandes ideas otorga un marco para la inclusión de determinados tópicos y tipos de estudios dentro del curriculum escolar.

### **Evaluaciones de alto impacto**

No cabe duda que la causa de la actual fragmentación de la experiencia de aprendizaje de los estudiantes en muchos dominios, se puede encontrar en la forma de evaluación utilizada. Las pruebas y exámenes convencionales contienen una serie de preguntas desconectadas, las cuales inevitablemente representan una selección de preguntas que pueden ser confiablemente evaluadas. No sorprende, por lo tanto, que esto fomente la enseñanza de ítems de conocimiento desconectados y focalice el aprendizaje en cómo dar la respuesta “correcta”. Es más, el uso de los resultados de la evaluación para la toma de decisiones de alto impacto que afectan a los estudiantes y a los profesores tiene implicancias sobre qué y cómo se evalúa. Cuando los estudiantes y los profesores están siendo evaluados por el resultado de pruebas y exámenes, hay una tendencia a

privilegiar la exactitud y a restringir lo que se incluye en los indicadores de logro a aquello donde el desempeño puede ser más fácilmente catalogado como correcto o incorrecto. Esto tiende a excluir logros que son más difíciles de juzgar inequívocamente como correctos o incorrectos, como la aplicación de un concepto, el razonamiento, la comprensión (como opuesta a conocimiento factual) y actitudes, las que probablemente influenciarán el aprendizaje futuro. Si bien algunos de los desempeños que son difíciles de incluir en las evaluaciones formales pueden ser evaluados a través de proyectos o trabajos en clases, la presión de los exámenes de alto impacto lleva a colocar un foco muy estrecho sólo en aquellos aspectos que se reflejan en los criterios de evaluación. Esta “enfermedad” se extiende a la escuela primaria cuando las evaluaciones son frecuentes y se utilizan para evaluar el desempeño de las escuelas y los profesores.

En condiciones extremas, esto genera como resultado que lo que se enseña esté determinado por lo que se evalúa más que por aquello que contribuye a la comprensión creciente de las ideas claves y al desarrollo de habilidades de razonamiento y actitudes. Esto hace que los profesores enseñen de una manera que no les agrada a ellos ni a sus alumnos. Lamentablemente, persiste la política de aplicación frecuente de pruebas externas a todos los niños, a pesar de dos décadas de investigación que ha generado evidencia de su impacto negativo y que ha rechazado la afirmación de que «el examinar eleva los estándares». Sin embargo, no es nuestro propósito aquí, hablar de cuestiones relacionadas con la evaluación del rendimiento de los alumnos, ni de la mejor forma de evaluar la efectividad de las escuelas, excepto para señalar que es hora de hacer una inversión considerable en el desarrollo de nuevos enfoques de la evaluación que reflejen mejor las ideas y capacidades fundamentales en todos los dominios temáticos.

### **Reforma reciente en la pedagogía de la educación en ciencias**

Las iniciativas actuales que intentan revertir la falta de interés y de aprecio de los alumnos por la ciencia se focalizan hacia la forma de enseñar. La aproximación basada en la indagación ha sido ampliamente impulsada y está siendo implementada en muchos países a través del mundo. La indagación, bien ejecutada, lleva a la comprensión y deja espacio para la reflexión sobre lo que se ha aprendido, de manera que las nuevas ideas resulten del desarrollo de ideas más tempranas. También implica que los estudiantes trabajen de un modo similar al de los científicos, desarrollando comprensión desde la obtención y uso de evidencia para someter a prueba distintas formas de explicar los fenómenos que están estudiando. Existe creciente evidencia de que esto tiene efectos positivos en la actitud hacia la ciencia. Sin embargo, sería demasiado optimista pensar que el cambio en la pedagogía puede ser llevado a cabo sin cambios en el contenido o en el

*La evaluación de alto impacto determina que lo que se enseña, esté definido por lo que se evalúa más que por aquello que contribuye a la comprensión creciente de ideas claves y al desarrollo de habilidades de pensamiento y actitudes*

currículum. La enseñanza basada en la indagación genera demandas tanto en cuanto a las habilidades de los profesores como de los tiempos para enseñar y aprender. El aprendizaje basado en la indagación puede llevar a una mayor profundidad en la comprensión, pero como toma más tiempo, la amplitud de temas que pueden abarcarse se reduce. Por ello, la identificación de grandes ideas en ciencias es el acompañamiento natural, y de hecho necesario, para promover la enseñanza basada en la indagación.

### Identificando las grandes ideas

Ha habido muchos otros intentos de identificar las grandes ideas en ciencia por lo que es lícito preguntarse, por qué agregar a lo que ya está disponible.

Una razón es que ninguna de las listas disponibles, se ajusta bien a nuestro propósito; otra es que no solo es importante identificar las ideas, sino también indicar cuál es el pensamiento que existe detrás de ellas. Además, para asegurar que el estudiante pueda desarrollar su conocimiento a través de la indagación se requiere identificar el curso de la progresión cognitiva.

En relación al propósito, la intención del seminario y del trabajo posterior fue no sólo describir las ideas a ser aprendidas al final de la escolaridad obligatoria sino también las ideas necesarias para progresar hacia ellas. Esto requirió decisiones concernientes a la naturaleza de la progresión y sobre cómo ésta podía expresarse. Fue necesario abordar preguntas sobre cómo puede identificarse el curso del progreso ¿a través de la lógica sobre la relación de una idea con otra y/o desde la evidencia sobre las ideas de los estudiante en las distintas etapas, o ambas? También surgieron preguntas relacionadas a cómo expresar la progresión sin perder la relación con la idea global.

Antes de avanzar hacia la nominación de posibles grandes ideas, se consideraron los principios que deberían guiar las respuestas a las muchas preguntas sobre las metas y procedimientos de la educación en ciencias. Identificar grandes ideas no tendría significado si no excluyera e incluyera material que actualmente se enseña. Entonces, puesto que las decisiones deben basarse en razones explícitas fundamentadas en principios, consideramos los principios al comienzo del seminario y regresamos a ellos al final. Cada una de las sesiones guiadas por cada uno de los participantes, cubrieron la concepción de las grandes ideas, los criterios de selección, el estudio de algunos ejemplos y marcos de referencia, la naturaleza de la progresión, la pedagogía apropiada a los principios y al desarrollo de una comprensión amplia de las ideas científicas y de la naturaleza de la actividad científica.

*La identificación de las grandes ideas en la ciencia es un complemento natural de la promoción de la educación en ciencias basada en la indagación*

Ninguno de estos tópicos llevó a una conclusión durante los dos días y medio de seminario – por ejemplo, no existió una lista concordada de grandes ideas - pero el trabajo continuó durante los meses siguientes por correspondencia. En este informe, después de establecerse diez principios que sustentan la educación en ciencia para todos los estudiantes, se explica el razonamiento detrás de la selección de las 14 grandes ideas, diez de las cuales son ideas de ciencia y cuatro son ideas acerca de la ciencia. Después se considera la cuestión sobre el progreso para la adquisición estas ideas y algunas de las implicancias para la práctica en el aula al trabajar con estas ideas.

En la comunicación de los resultados de este seminario, y el trabajo posterior, no se hace referencia a literatura o a investigaciones similares. Esto fue deliberado, no obstante reconocemos que hemos utilizado, consciente o inconscientemente, las ideas y documentos de otros autores e investigadores. En la preparación del seminario se levantó una lista de fuentes claves, la mayoría de las cuales ya eran familiares a los participantes. Otras fuentes y materiales fueron agregados por los participantes y otros se utilizaron en la preparación del informe. La lista de aquellos que consideramos más útiles y relevantes se encuentra en el apéndice.

## Sección Uno

# Principios en que se sustenta la educación esencial en ciencias

Esta declaración de principios transmite los valores y estándares que consideramos deberían guiar las decisiones y acciones en la educación en ciencias, contra los cuales se deberían contrastar dichas decisiones y acciones. Los principios no se exponen de manera jerárquica, pero hay una cierta lógica en el sentido que comienzan con objetivos generales, propósitos, metas y progresión, seguido por los principios que se relacionan con la experiencia de aprendizaje y las implicaciones para los programas de ciencias en las escuelas.

**1 A través de los años de escolaridad obligatoria, las escuelas deberían aspirar sistemáticamente, por medio de sus programas de ciencias, a desarrollar y mantener viva la curiosidad acerca del mundo, el gusto por la actividad científica y la comprensión sobre cómo pueden explicarse los fenómenos naturales.**

La educación en ciencias debería estimular la curiosidad, el asombro y el cuestionamiento, contribuyendo a la inclinación natural de buscar el significado y entendimiento del mundo que nos rodea. La ciencia debería ser introducida y reconocida por los estudiantes como una actividad efectuada por personas que los incluye 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 que también debería hacerlos comprender que pueden aportar a su propio conocimiento a través de la indagación activa. Tanto el proceso como el producto de la actividad científica pueden generar una respuesta emotiva positiva que sirva de estímulo para el futuro aprendizaje.

En este contexto consideramos la ciencia como multifacética, abarcando conocimiento sobre del mundo y el proceso de observar, cuestionar, investigar y razonar respecto a la evidencia a través de la cual el conocimiento y las teorías se desarrollan y cambian. Afirmar que la ciencia, entendida de esta manera, tiene un rol central en la educación desde el comienzo de la escuela, no niega la importancia de desarrollar las competencias básicas de lenguaje y matemáticas tempranamente en la vida escolar. La comunicación y discusión de ideas desde la experiencia directa exige que los estudiantes intenten transmitir el significado a otros y los lleva a reformular ideas en respuesta al significado que los otros le dan a su experiencia. Por esto el desarrollo del lenguaje y las ideas acerca del

*La ciencia debería ser introducida y reconocida por los estudiantes como una actividad realizada por personas que los incluye a ellos mismos*

mundo van naturalmente juntos. De modo similar, la ciencia ofrece un contexto clave para el desarrollo de habilidades matemáticas.

No estamos invocando que cada concepto pueda ser introducido y entendido en la educación temprana. La comprensión en ciencias se deduce de la exploración de objetos y fenómenos, estimulada por la curiosidad sobre cómo explicar las ideas del mundo que nos rodea, y como se hace notar más adelante (Principio 4), la comprensión no es algo que está presente o ausente, sino algo que progresa en complejidad con la experiencia creciente.

El principio que establece que la ciencia debe ser parte de la enseñanza en la escuela primaria, se basa en evidencia que demuestra su impacto positivo. La ciencia en la escuela básica debe desafiar las ideas intuitivas no científicas de los niños, las cuales, si se dejan sin contrastar, pueden interferir, posteriormente, con la comprensión del mundo.

El involucrarse en la indagación científica ofrece a los alumnos el placer de descubrir por sí mismos e inicia la apreciación de la actividad científica y del poder y limitaciones de las ciencias. Aprender acerca de las personas y la historia de las ciencias apoya el concepto de que la ciencia es un importante esfuerzo humano mediante el cual se construye conocimiento confiable a través de una acumulación sistemática de datos y evidencia.

*La indagación científica ofrece a los alumnos el placer de descubrir por sí mismos e inicia la apreciación del poder y las limitaciones de la ciencia*

## **2 El objetivo principal de la educación en ciencias debiera ser capacitar a cada individuos para que informadamente tomen parte en las decisiones y participen en acciones que afectan su bienestar personal y el bienestar de la sociedad y de su medio ambiente.**

“La educación en ciencia para todos” significa justamente eso: la educación que es importante para todos los estudiantes, tanto para aquellos que más adelante serán científicos o técnicos o que tendrán ocupaciones que requerirán algún conocimiento científico, como para todos aquellos estudiantes que no tomarán este camino. La educación en ciencias sirve tanto al individuo como a la sociedad.

La educación en ciencias ayuda a los estudiantes a desarrollar capacidad de razonamiento y actitudes que les posibilita llevar vidas física y emocionalmente sanas a la vez que satisfactorias. La comprensión de los aspectos del mundo que los rodea, tanto el natural como el creado mediante la aplicación de la ciencia, sirven no sólo para satisfacer y estimular su curiosidad, sino también ayuda a los individuos a tomar decisiones personales en materias que afecten su salud y el medio ambiente, así como la elección de una carrera. Las formas de aprender ciencias que conducen a la comprensión, facilitan el desarrollo de

*Las formas de aprender ciencias que conducen a comprensión ayudan a desarrollar habilidades de aprendizaje necesarias para funcionar efectivamente en un mundo que cambia rápidamente*

habilidades de aprendizaje necesarias para funcionar efectivamente en un mundo que cambia rápidamente. El desarrollo de actitudes hacia la ciencia y el uso de evidencia en la toma de decisiones ayuda a los estudiantes a ser ciudadanos informados, rechazando el mal uso de la información y reconociendo cuando la evidencia está siendo utilizada selectivamente para apoyar argumentos a favor de una acción particular.

Al igual hay beneficios para la sociedad cuando los individuos toman decisiones informadas en relación a evitar, por ejemplo, el mal uso de la energía y otros recursos, la contaminación, las consecuencias de una mala nutrición, la falta de ejercicio o del uso de drogas. Además de impactar sus vidas cotidianas, esto tiene también una consecuencia más amplia a través del impacto de largo plazo de la actividad humana en el ambiente. Comprender como la ciencia se usa en muchos aspectos de la vida, es necesario para apreciar la importancia de la ciencia y para reconocer que la atención que debe darse para asegurar que este conocimiento sea utilizado en forma apropiada. Los estudiantes necesitan conocer cómo en el pasado y en la actualidad la tecnología, usando el conocimiento científico, ha impactado positiva o negativamente en la sociedad. Relacionando la ciencia con situaciones familiares y objetos usados diariamente se estimula el interés por aprender ciencia, pero también se entiende cuan distribuida local y globalmente son las consecuencias de su aplicación.

Una mayor atención sobre el rol general de la ciencia en la vida diaria, y en particular en las actitudes más informadas que resultan de la enseñanza temprana de ésta, podría llevar a más estudiantes a elegir la especialidad en ciencia, pero como algo secundario a la “la ciencia para todos”.

### **3 La educación en ciencias tiene múltiples metas y debería estar orientada a desarrollar:**

- **comprensión de un conjunto de “grandes ideas” en ciencias que incluyen ideas de las ciencias e ideas sobre las ciencias y su rol en la sociedad**
- **capacidades científicas relacionadas con la recolección y el uso de evidencias**
- **actitudes científicas.**

Aquí utilizaremos el término “idea” para identificar una abstracción que explica relaciones observadas o propiedades. Esto es diferente del uso cotidiano de la palabra “idea” como un pensamiento que no se basa necesariamente en la evidencia. Una “gran” idea en ciencia es la que se aplica a un amplio rango de objetos o fenómenos, mientras que lo que podríamos llamar pequeñas ideas, se aplica a las observaciones o experiencias particulares. Un ejemplo de una idea pequeña es “los gusanos están bien adaptados a vivir en la tierra”, un ejemplo de una gran idea es

decir que los seres vivos han evolucionado durante períodos muy largos de tiempo para funcionar bajo ciertas condiciones.

A través de la educación científica los estudiantes deberían lograr comprensión de las grandes ideas sobre los objetos, fenómenos, materiales y sobre las relaciones del mundo natural (por ejemplo, que toda la materia está compuesta de pequeñas partículas; que los objetos son capaces de afectar a otros a distancia). Estas ideas no sólo ofrecen explicaciones de las observaciones y respuestas a las preguntas que surgen en la vida cotidiana, sino también permiten la predicción de fenómenos no observados con anterioridad. La educación en ciencias debe también desarrollar grandes ideas sobre la investigación científica, razonamiento y métodos de trabajo (por ejemplo, que la investigación científica involucra la realización de predicciones sobre la base de posibles explicaciones y evaluar el valor de distintas ideas en relación a la evidencia) e ideas sobre la relación entre la ciencia, tecnología, sociedad y medio ambiente (por ejemplo, que las aplicaciones de la ciencia pueden tener efectos sociales, económicos y ambientales tanto positivos como negativos).

Si bien estas grandes ideas constituyen el foco principal de este informe es importante señalar que las metas de la educación científica también incluyen el desarrollo de capacidades y actitudes científicas.

La apreciación sobre cómo se desarrolla el conocimiento en ciencias, se debe adquirir, al menos en parte, desde la experiencia de realizar indagación científica de diversos tipos. A través, de esta actividad los estudiantes deberían desarrollar habilidades respecto a la elaboración de preguntas y la obtención de datos a partir de la observación y la medición que ayuden a contestar estas preguntas, el análisis y la interpretación de datos, incluyendo la participación en discusiones sobre los resultados y la forma en que se desarrolló el proceso.

Las actitudes científicas fundamentales incluyen la voluntad de participar en actividades científicas, esto es, indagar e investigar de un modo científico. Las metas de la educación en ciencias deberían incluir la disposición para recopilar datos de una manera controlada y sistemática, con una mente abierta a la interpretación de datos, trabajar colaborativamente con otros, ser inquisitivos y apropiadamente críticos en relación a las explicaciones propuestas durante el desarrollo de las investigaciones, y comportarse responsablemente durante el desarrollo de las investigaciones en lo relacionado al ambiente, al bienestar y la seguridad propia y de los demás.

Estos múltiples objetivos no se alcanzan independientemente uno de otro. Hay una interacción esencial entre ellos durante el aprendizaje: la verdadera comprensión requiere capacidades, así como aquellas implicadas

*El objetivo de la educación en ciencias también incluye el desarrollo de habilidades científicas y actitudes científicas ... su logro involucra el uso de lenguaje – escrito, oral y matemático*

en el uso de la evidencia y el razonamiento, y actitudes tales como la curiosidad, el respeto por la evidencia y una mente abierta. Su logro implica el empleo del lenguaje - escrito, oral y matemático - para describir las propiedades y las relaciones de los objetos y fenómenos y el reconocimiento del significado científico de las palabras que tienen un sentido diferente en el uso diario.

## **4 Debe establecerse una clara progresión hacia las metas de la educación en ciencias, indicando las ideas que deben lograrse en cada una de distintas etapas, en base a un cuidadoso análisis de los conceptos y de las investigaciones recientes que nos permiten entender cómo se aprende.**

Los niños llegan a la escuela con ideas sobre el mundo adquiridas a través de sus acciones, observaciones y pensamiento en la vida cotidiana. Estas ideas son el punto de partida para el desarrollo de la comprensión, las habilidades y las actitudes que constituyen las metas de la educación en ciencias. Para favorecer el progreso hacia metas más avanzadas, es importante conocer la dirección y naturaleza de ese progreso y, en particular, lo que se espera que los estudiantes conozcan, comprendan, realicen y en distintos momentos de su educación escolar.

Identificar la evolución del progreso requiere tanto de un análisis lógico para encontrar las ideas más simples que son la base para ideas más complejas (por ejemplo, ideas sobre la masa y volumen antes del concepto densidad) y - como los seres humanos no necesariamente desarrollan las ideas en forma lógica - se requiere además evidencia empírica sobre cómo se desarrolla el pensamiento. Estas aproximaciones no son independientes, porque las expectativas le dan un marco al foco de las preguntas de investigación. Sin embargo, es descubriendo cómo los estudiantes le dan sentido a las experiencias, que se puede llegar a visualizar los cambios en el pensamiento que indican el progreso hacia el logro de las metas.

Las ideas científicas son a menudo complejas y el progreso depende de la expansión de la experiencia, el desarrollo del razonamiento y el acceso a las diferentes formas de explicar los fenómenos, las propiedades y las relaciones. Por lo tanto, el progreso varía de un estudiante a otro de acuerdo a sus oportunidades, tanto dentro como fuera de la escuela. Una descripción exacta del progreso, que se aplique a todos los estudiantes, es por lo tanto poco realista, pero hay tendencias comunes que permiten una descripción amplia de lo que se podría encontrar durante los distintos momentos en que los estudiantes se mueven desde la etapa preescolar, a la enseñanza primaria y la secundaria.

Estas tendencias incluyen:

*Al descubrir como los estudiantes le dan sentido a las experiencias, podemos visualizar los cambios de pensamiento que indican un progreso hacia el logro de metas*

- creciente habilidad para considerar que las propiedades pueden ser explicadas por características que no son directamente observables.
- mayor reconocimiento de que se necesita entender varios factores para comprender y explicar un fenómeno.
- mayor cuantificación de las observaciones, a través del uso de las matemáticas, para refinar las relaciones y profundizar la comprensión.
- El uso más eficaz de los modelos físicos, mentales y matemáticos.

El reconocimiento y la aplicación de estas tendencias generales, favorece un enfoque más flexible a la progresión que tiene una secuencia prescrita de actividades que no coinciden con las necesidades que tienen los estudiantes, punto que será discutido en mayor profundidad en el siguiente principio.

## **5 La progresión hacia las grandes ideas debiera resultar del estudio de tópicos que sean de interés para los estudiantes y relevantes para sus vidas.**

Es importante distinguir entre el documento escrito que establece el currículo en términos de una secuencia de objetivos de aprendizaje (a menudo un "currículum nacional») y las actividades de aula que experimentan los estudiantes. El programa de enseñanza, es a veces descrito como el "currículum", pero aquí se utiliza el término para indicar las metas y las intenciones a través de los años de escolaridad. No es el rol del documento del currículum, precisar cómo deben alcanzarse los objetivos. Ese es el rol de los profesores y de la orientación otorgada por los desarrolladores de proyectos y programas. Ese tipo de material ejemplifica las experiencias de aprendizaje, contextos y aproximaciones más adecuadas para alcanzar los objetivos señalados en el Principio 3 y para cumplir los estándares en otros principios. Debería ayudar a los profesores a proporcionar experiencias de aprendizajes que sean vistas por los estudiantes como relevantes, importantes y sobre todo motivadoras. Una pregunta clave para los desarrolladores de programas y para los profesores es cómo asegurar que "las pequeñas ideas" desarrolladas en un estudio de un tópico o un tema particular, se transformen gradualmente "grandes ideas".

Una forma de responder es hacer un análisis de los prerrequisitos de cada gran idea, para crear una serie de ejercicios que en teoría deberían combinarse para producir la comprensión esperada. Cuando los estudiantes se ven enfrentados a materiales estructurados y actividades cuidadosamente secuenciadas, ellos necesitan confiar en que "si hoy Ud. hace esto, mañana entenderá algo". Pero adoptar este enfoque es ignorar en gran parte lo que se sabe sobre cómo aprenden las personas, en particular sobre la importancia de darle sentido de las experiencias. A los

*Los estudiantes encuentran muy difícil aprender a partir de tareas que no tienen significado aparente para ellos*

estudiantes les resulta muy difícil aprender con comprensión desde tareas que no tengan un sentido que les resulte evidente. Ellos aprenden más rápido cuando son capaces de vincular las nuevas experiencias con lo que ya saben, cuando tienen tiempo para conversar y preguntar y están siendo motivados por la curiosidad para responder a las preguntas planteadas. Esto sugiere actividades que permitan a los estudiantes involucrarse con objetos y problemas reales. Significa también que los programas de enseñanza y aprendizaje deben ser lo suficientemente flexibles para permitir diferentes experiencias que tomen en cuenta lo que cada localidad en particular tiene que ofrecer, de manera que el interés de los estudiantes y las preguntas se utilicen como puntos de partida para trabajar hacia objetivos comunes. Esta clase de actividad no es típicamente la que aborda solo una idea a la vez como en un programa estructurado. Las actividades que tienen sentido y representan interés para los estudiantes con frecuencia contribuyen al desarrollo de varias ideas relacionadas.

## **6 Las experiencias de aprendizaje debieran reflejar una visión del conocimiento científico y de la indagación científica explícita y alineada con el pensamiento científico y educacional actual.**

La ciencia se presenta a menudo como una colección de hechos y de teoremas que se ha demostrado correctos. El término “objetivo” se utiliza con frecuencia para describir “el método científico”, dando a entender que hay un solo enfoque y que éste sería independiente del juicio y de los valores humanos. Por el contrario, la visión actual es que la ciencia no es en absoluto estática; las teorías dependen de la evidencia disponible y pueden cambiar a medida que emerge nueva evidencia. La ciencia es vista como el resultado del esfuerzo humano, involucrando creatividad e imaginación, así como la recolección cuidadosa de datos e interpretación de datos para generar nueva evidencia. La historia de la ciencia proporciona muchos ejemplos sobre cambios en nuestra comprensión de las cosas, por ejemplo el sistema solar. Desde la perspectiva actual, conociendo la evidencia que finalmente apoyó las nuevas ideas, estas ideas pueden parecer obvias, pero en su momento se requirió de un salto del pensamiento creativo que llevó a buscar las evidencias existentes, no siendo éstas el punto de partida - una mezcla de razonamiento inductivo y deductivo. Las ideas que reciben repetidamente apoyo desde la evidencia adquieren la condición de «hechos», pero su estabilidad depende de la existencia de abundante evidencia. La ciencia entendida como creación de comprensión sobre el mundo, es más probable que resulte estimulante para los estudiantes que cuando se ve como conjunto de procedimientos mecánicos y de respuestas correctas establecidas.

*La ciencia entendida como la creación de conocimiento es más probable que resulte estimulante para los estudiantes que cuando es vista como un set de procedimientos mecánicos y de respuestas correctas establecidas*

La actividad científica y el pensamiento, tanto de los estudiantes como de los científicos, tienen como objetivo la comprensión. En esto difiere en su

énfasis principal de la tecnología, que pretende solucionar los problemas mediante el diseño y fabricación de productos. En el desarrollo de comprensión, el último juicio de la validez científica es la evidencia del mundo físico. En este sentido, la ciencia se diferencia de las matemáticas, donde la lógica es la base del razonamiento. Hay muchas razones para asociar las ciencias, las matemáticas y la tecnología en la enseñanza y el aprendizaje, pero es importante que se reconozcan sus diferentes contribuciones en la generación del conocimiento y a la comprensión. Las matemáticas tienen el atractivo de ser precisas, dando respuestas claras. En comparación, la ciencia puede parecer imprecisa pero esto se debe, a que depende de la evidencia que puede ser incierta o abierta a una serie de interpretaciones, no porque sea simplemente una cuestión de opinión o de creencia no validada.

## **7 Todas las actividades del curriculum de ciencias deben profundizar la comprensión de las ideas científicas, teniendo además otros posibles objetivos como estimular actitudes y habilidades.**

No es por casualidad que el desarrollo de las grandes ideas viene primero en la lista de objetivos del Principio 3, ya que esto debería tener prioridad al momento de diseñar experiencias de aprendizaje. Muchas experiencias de aprendizaje en ciencias también contribuyen al desarrollo de capacidades y actitudes, pero las actividades que sólo tienen objetivos no cognitivos y son carentes de contenido que pueda conducir al desarrollo de las ideas científicas, no contribuyen lo suficiente a la educación en ciencias. Las habilidades deben ser utilizadas y relacionadas con alguna materia: algo debe ser observado y los datos deben ser sobre algo. Si este “algo” no está relacionado con la comprensión del mundo físico o vivo, la habilidad es genérica y no científica. Del mismo modo, las actividades diseñadas sólo por el placer o el entusiasmo, no forman parte de la educación en ciencias más que una demostración de fuegos artificiales.

Como en todo aprendizaje, hay diferentes tipos de motivación para aprender ciencias – factores intrínsecos, que responden al interés en el tema y factores extrínsecos, en la forma de estimulación o recompensas. Existe un rol para las demostraciones que captan el interés cuando éstas conducen a preguntas que los alumnos pueden investigar. Sin embargo, es particularmente importante que los profesores de la escuela primaria se aseguren de que las actividades que los niños realicen vayan más allá de la entretención y les ayuden a adquirir una comprensión cada vez mayor de las cosas que están en su alrededor. Esto no quiere decir necesariamente que los estudiantes más jóvenes se darán cuenta de las grandes ideas que las actividades pretenden ayudar a comprender; de hecho esto solo es probable para el caso de los estudiantes mayores, en los niveles de

*En un primer nivel, donde las grandes ideas pueden parecer alejadas de la comprensión de los niños, los docentes pueden necesitar apoyo en el reconocimiento de su importancia en la progresión de las grandes ideas a partir de las pequeñas ideas desarrolladas en etapas*

secundaria. Sin embargo, en la mente del profesor debe haber conciencia de cómo las actividades contribuyen a generar hebras de pensamiento que puedan integrarse con el tiempo. En el nivel primario, donde las grandes ideas pueden parecer particularmente lejanas para la comprensión de los niños, los profesores pueden necesitar ayuda en el reconocimiento de la importancia de la progresión, de las pequeñas ideas a las grandes ideas, que se desarrollan en las experiencias más tempranas.

## **8 Los programas que guían el aprendizaje de los estudiantes, la formación inicial y el desarrollo profesional de los profesores, debieran ser consistentes con las metodologías de enseñanza y aprendizaje que se requieren para alcanzar las metas enunciadas en el Principio 3.**

El que un estudiante entienda o no una idea, se refleja en cómo le ayuda a dar sentido a las experiencias en un cierto momento. El proceso de "entender" las nuevas experiencias implica usar una idea para hacer predicciones que se someten a prueba contra nueva evidencia que es recolectada a través de una determinada forma de indagación. Pueden existir diversas ideas para abordar que surjan de la experiencia previa del estudiante, del resto de estudiantes, del profesor o de fuentes de información. Si se solicita a los estudiantes aceptar ideas que pueden entrar en conflicto con sus ideas intuitivas, sin la oportunidad de "ver por sí mismos", es poco probable que las ideas realmente sean usadas para entender las cosas a su alrededor. De esto se deduce que los métodos pedagógicos que se necesitan son aquellos que permiten a los estudiantes construir su comprensión a través de la realización de predicciones basadas en las ideas posibles, recoger datos de diversas maneras, interpretar datos, revisar los resultados contrastándolos con sus predicciones y discutiendo cuán útiles son estas ideas.

No todas las ideas contenidas en las metas de la educación científica pueden ser investigadas a través de la manipulación o experimentación de los objetos. Otros tipos de indagación, como estudios de observación y correlación también necesitan a menudo ser utilizados, por ejemplo en relación al Sistema Solar y al interior del cuerpo humano. Lo importante, no es tanto la manipulación física, sino la actividad mental, de manera que los estudiantes sean participantes reflexivos en la obtención y el uso de evidencia y en la discusión con los demás.

La participación en distintas formas de indagación además de contribuir al desarrollo de las ideas científicas, proporciona a los estudiantes comprensión sobre la ciencia y sobre cómo los científicos realizan su trabajo. La enseñanza, por lo tanto, debería ofrecer oportunidades para que los estudiantes reflexionen sobre su participación en indagaciones

*Lo importante no es la manipulación física sino la actividad mental, de manera que los estudiantes sean participantes reflexivos en la obtención y el uso de evidencia y en la discusión con los demás*

científicas, sobre cómo buscaron y utilizaron las evidencias y el rol de la discusión con otros para el desarrollo de su comprensión. Comprender la naturaleza, el poder y las limitaciones de la labor científica también se facilita al aprender acerca del trabajo de los científicos del pasado y del presente: cómo los científicos se han planteado preguntas y les han dado respuestas, qué los llevó a plantearse esas preguntas, qué discusiones siguieron y cómo las diferencias en estos puntos de vista resolvieron o no.

Los cursos de formación de profesores, tanto iniciales como en servicio, deben reconocer que los profesores - como aprendices - también necesitan experimentar la actividad científica y el discurso a su propio nivel. Los cursos deben incluir la realización de diferentes tipos de indagación científica seguida de reflexión sobre el rol del profesor en el apoyo de la comprensión tanto de la ciencia como sobre la ciencia.

## **9 La evaluación juega un rol clave en la educación en ciencias. La evaluación formativa del aprendizaje de los estudiantes y la evaluación sumativa de su progreso, debieran aplicarse a todas las metas.**

La evaluación empleada como parte integral de la enseñanza para ayudar al aprendizaje de los estudiantes, se describe como formativa. Su fundamento es que para que los estudiantes aprendan con comprensión, necesitan comenzar desde las ideas y habilidades que ya poseen. El rol del profesor es facilitar este aprendizaje, asegurando que las actividades proporcionen una dosis adecuada de desafío para el desarrollo de ideas y de habilidades. Esto significa darse cuenta hasta donde los estudiantes han alcanzado en su desarrollo, entendiendo cómo se puede avanzar desde ahí. Una parte importante de este proceso, es ayudar a los estudiantes a reconocer las metas de una actividad y aprender a juzgar el nivel de logro de los objetivos, de modo que ellos puedan tomar el rol de dirigir su propio esfuerzo. El uso de la evaluación de esta manera es continuo y no es algo que sucede después del aprendizaje, como es el caso de la evaluación sumativa, por lo tanto debería estar incorporado en los programas y guías que utilizan los profesores. Claramente, la evaluación formativa debe relacionarse con todos los objetivos, así los profesores podrán tener más posibilidades de alcanzarlos.

La evaluación sumativa tiene un propósito diferente a la evaluación formativa. Se utiliza para resumir el nivel alcanzado por los estudiantes en un determinado momento, con el fin de informar, por ejemplo a los padres y apoderados, nuevos profesores, en los puntos de transición y de transferencia y para los propios estudiantes. Siendo un resumen, esta información tiene que ser menos detallada de la que se requiere para fines formativos. Se puede obtener de la información que ha sido reunida y

*El uso de la evaluación para ayudar al desarrollo del aprendizaje es continuo, no algo que sucede después del aprendizaje y debería estar incorporado en los programas y guías de enseñanza*

utilizada para ayudar al aprendizaje, si es que esta información fue analizada contrastándola con descripciones de logros en los diferentes niveles. También se puede llegar a ella comprobando qué saben los alumnos en un determinado momento, a través de exámenes o tareas especiales. Pero en este caso, es difícil asegurar que todas las metas serán evaluadas, ya que es un conjunto limitado de ítems de pruebas o de tareas especiales, mientras los profesores pueden resumir la información obtenida de una serie amplia de actividades que están más relacionadas a los aprendizajes esperados. Una combinación de la evaluación de los profesores con tareas especiales, es donde las tareas se utilizan para moderar el juicio de los profesores, es probable que entregue datos con la combinación necesaria de validez y confiabilidad.

Se supone que lo que se evalúa e informa es aquello que es importante aprender, por lo que es esencial que esto, no esté limitado a lo que es más fácil examinar.

## **10 En el trabajo hacia esos objetivos, los programas escolares en ciencias deberían promover la cooperación entre profesores y el compromiso de la comunidad, incluyendo la participación de los científicos.**

En todas las áreas de aprendizaje, las escuelas se benefician comunicando a los padres y a otros sus metas y la forma de trabajar para alcanzarlas. La vida escolar no es más que una parte de la experiencia de los niños y sus horas fuera de la escuela pueden ser utilizadas para apoyar su trabajo escolar si la comunidad en su conjunto entiende que es lo que está tratando de hacer la escuela. Esto es, particularmente importante para la educación científica en donde el propósito es entender el mundo que nos rodea y las oportunidades son, por lo tanto, prácticamente ilimitadas. El valor de compartir la visión de la escuela y sus metas, puede ir más allá del beneficio a los estudiantes. Muchas escuelas crean oportunidades para que los padres y otros tengan el mismo tipo de experiencias en indagación científica que los estudiantes y por lo tanto, desarrollen su propia comprensión- por ejemplo, sobre temas basados en la ciencia como son la conservación de la energía, el reciclaje de materiales y la protección de los hábitat naturales.

Las experiencias de los estudiantes en la escuela pueden también ser favorecidas por los programas que alientan activamente a los profesores a trabajar juntos y a su vez, con la comunidad local. La ciencia es compleja y cambiante y enseñarla es demandante. Pocos profesores de escuela se sienten plenamente seguros en todas las áreas de la ciencia que tienen que enseñar; de hecho, muchos profesores de primaria se sienten seguros en solo unas pocas áreas de la ciencia y algunos profesores de secundaria

deben enseñar todos los temas de ciencias aunque ellos puedan tener estudios, solamente, en uno o dos campos en profundidad. Todos pueden beneficiarse de los programas que ofrecen a los profesores oportunidades de compartir sus experiencias con otros, teniendo acceso al consejo de científicos, a recibir ideas sobre la aplicabilidad de la ciencia desde quienes están en las industrias locales o participando en actividades científicas en la misma comunidad. Igualmente pueden beneficiarse permitiendo que los estudiantes de ciencias de la educación superior o investigadores en ciencias provean ayuda en línea o visitando escuelas para trabajar directamente con estudiantes para complementar sus aprendizajes y ayudar a los profesores con sus conocimientos en el área específica permite a la comunidad científica contribuir al mejoramiento de la educación científica.

*Todos pueden beneficiarse de los programas que ofrecen a los profesores oportunidades de compartir experiencias con otros, teniendo acceso al consejo de científicos, a recibir ideas sobre la aplicabilidad de la ciencias desde quienes están en las industrias locales o participando en actividades científicas en la comunidad*

## Sección Dos

# Seleccionando las grandes ideas de la ciencia

Aquí se discuten las respuestas a algunas preguntas que enmarcan nuestra selección de grandes ideas y la identificación del progreso hacia ellas. Las principales preguntas son:

- ¿Debemos preocuparnos de las grandes ideas de la ciencia o de las grandes ideas de la educación en ciencia - o son lo mismo?
- ¿Cuán “grandes” deberían ser las grandes ideas?
- ¿Qué criterios deberían guiar la selección?
- ¿Deberíamos limitar las ideas a aquellas que resultan de la actividad científica – ideas sobre el mundo natural - o incluir ideas sobre la actividad científica y sobre el uso de las ideas científicas?

Una pregunta no incluida aquí tiene relación con los estudiantes a quienes esas ideas están destinadas. Esto es porque nuestro principal propósito desde el principio ha sido considerar las grandes ideas que deben estar entre los objetivos de la educación científica y alcanzar todos los estudiantes antes de finalizar su periodo escolar obligatorio. Independiente de si los estudiantes siguen estudios posteriores relacionados con el ámbito de las ciencias, estas ideas son las que ellos necesitan con el fin de entender lo que observan en el mundo natural y de tomar parte en las decisiones basadas en la ciencia que afectan a su propia vida y el bienestar de los demás.

### **¿Son lo mismo las ideas de la ciencia y las ideas de la educación en ciencias?**

La preocupación recientemente expresada de dotar a las personas con las ideas que necesitan para enfrentar eficazmente los problemas basados en la ciencia y la toma de decisiones en la vida diaria coloca la discusión en el campo de la educación en ciencias. Sin embargo, deja abierta la pregunta de si las grandes ideas transmitidas a través del estudio del mundo natural en la escuela deben ser las mismas que las creadas a través de la actividad de los científicos.

Hasta cierto punto es obvio que deberían ser lo mismo. De lo contrario se abriría una brecha desastrosa entre la “ciencia escolar” y la “ciencia real”, un espacio que fue tan evidente en Occidente durante e inmediatamente

después de la Segunda Guerra Mundial. Pero qué hay de los avances logrados por los científicos que trabajan en las fronteras del conocimiento en casi todos los dominios de la ciencia - por ejemplo usando el Gran Colisionador de Hadrones para explorar las condiciones en el momento del 'Big Bang' o la decodificación del genoma de los organismos - que dependen de conocimiento complejo que no está al alcance de estudiantes de la escuela. Estas investigaciones pueden dar lugar a nuevas ideas sobre el origen del Universo y a qué es lo que determina las diferencias entre los organismos. Pero aunque el camino de crear y someter a prueba nuevas ideas puede involucrar algunas tecnologías extremadamente complejas para obtener datos relevantes, las ideas subyacentes no son necesariamente demasiado complejas para los estudiantes de la escuela. Como suele suceder, una vez identificadas, las ideas pueden parecer muy obvias. Thomas Huxley, al leer “*El Origen de las Especies*” se dice que habría expresado “que estúpido de mi parte no haber pensado en eso”. Incluso los fenómenos estudiados en el Gran Colisionador de Hadrones y la genómica son comprensibles a algún nivel por alguien que ha entendido que “toda la materia está hecha de partículas muy pequeñas” y que “las células de todos los organismos contienen material genético que ayuda a determinar sus características”. Este argumento nos lleva a la conclusión de que las grandes ideas enseñadas en la educación científica deberían reflejar las grandes ideas de la ciencia, expresadas de manera apropiada para los estudiantes en las distintas etapas de desarrollo cognitivo.

*Las grandes ideas enseñadas en la educación científica deberían reflejar las grandes ideas de la ciencia, expresadas de manera apropiada para los estudiantes en las distintas etapas del desarrollo cognitivo*

Un curriculum expresado en términos de estas ideas debería perdurar más allá de los 10 y 15 años de vida de los planes nacionales de estudio. Ciertamente, las formas en las cuales las ideas fundamentales de la ciencia se ejemplifican y estudian cambiarán con el avance del conocimiento científico a partir del cual estas ideas se desarrollan. Pero los objetivos de aprendizaje, establecidos en el plan de estudios en términos de las grandes ideas, tienen una vida útil mucho mayor que los tópicos que se estudian en un momento determinado.

### **¿Cuán grandes son las grandes ideas?**

Definimos las grandes ideas como ideas que pueden usarse para explicar y hacer predicciones sobre una serie de fenómenos relacionados en el mundo natural. Sin embargo, las ideas vienen en diferentes tamaños; hay ideas moderadamente grandes que se pueden vincular para generar otras más grandes y algunas de éstas pueden embeberse en otras aún más grandes, ideas más abarcadoras.

Las ideas pequeñas son identificadas con facilidad como aquellas que caen en las divisiones de los dominios de distintas disciplinas de las ciencias. Cuando los bebés comienzan a formar ideas, éstas están claramente relacionadas con eventos muy específicos en su mundo limitado. Pero muy

pronto comienzan a identificar patrones en los objetos y eventos que observan; patrones que reflejan lo que reconocemos como diferentes dominios de la ciencia. Así ellos distinguen en los primeros años de vida entre los objetos animados e inanimados, tienen expectativas acerca de las trayectorias de movimiento de objetos y reconocen la diferencia entre algunas sustancias. Estos mismos patrones se observan en la comprensión de los niños en muchos países en los cuales se han llevado a cabo estudios y parecen ser la raíz de las ideas que se asocian a la biología, la física y la química. Así pues, no es de extrañar que las grandes ideas que hemos identificado muestren correspondencia con estos dominios de la ciencia. Sin embargo, expresar las metas en función de las disciplinas no significa que el aprendizaje tenga que darse en un dominio de contenidos o que requiera tópicos relacionados a un dominio. Esto podría, incluso, causar conflicto con los otros Principios presentes en la Sección 1.

Sin embargo, existen conceptos más abarcadores que cruzan los dominios de las ideas científicas. Estos están en un nivel muy alto de abstracción y hay menos de ellos; caen en dos categorías –ideas sobre el mundo que nos rodea (como escalas, simetrías, causalidad, forma y función) e ideas acerca de la forma en que las ideas científicas son generadas por la actividad humana.

En la primera clase de ideas están aquellas ideas que pueden ser alcanzadas solo cuando las ideas basadas en un dominio particular están firmes. Incluyen, por ejemplo, el concepto de sistema, como un conjunto de partes interconectadas que conforman una entidad mayor y que puede ser estudiada como un todo. Hay este tipo de sistemas dentro de los organismos, dentro de las máquinas, dentro de las comunidades y dentro de las galaxias. A menudo hay eventos en un sistema donde alguna propiedad o cantidad se conserva, como la masa, la carga, la energía, el momento angular, los genes en la división celular. Otra idea abarcadora es que el comportamiento de los objetos y sistemas muestran cierta regularidad que permite establecer relaciones para ser estudiadas y que puede ser usada para hacer predicciones acerca de los posibles resultados de un proceso. Al mismo tiempo, nunca es posible estar completamente seguro de una observación o medición; persiste cierta incertidumbre sobre lo que ocurrirá, aunque algunas consecuencias son más probables que otras.

A una segunda clase de ideas generales o abarcadoras concierne el cómo los conceptos científicos son creados y cambiados. Se incluyen ideas acerca de la naturaleza de la evidencia, los diferentes tipos y niveles de explicación y las fortalezas y limitaciones de las formas de modelar sistemas complejos.

Después de haber considerado alternativas, concluimos que, para el estudiante individual que puede o no embarcarse en una carrera basada en la ciencia, son las ideas menos generales en un determinado dominio las que parecen más útiles. Son las grandes ideas a este nivel las que la educación en ciencias debe ayudar a desarrollar, teniendo en cuenta lo planteado en relación al Principio 5 sobre la importante diferencia entre las metas del curriculum y las experiencias de aprendizaje. Mayor desglose de las ideas también es posible, por supuesto, pero existe el riesgo de perder las conexiones entre las pequeñas ideas que les permite fundirse en una idea grande coherente. Expresar el significado de las grandes ideas en forma narrativa en lugar de una lista de puntos aislados, en un intento adicional en pro de preservar su integridad.

### **¿Qué criterios deberían ser usados para seleccionar las grandes ideas?**

No sólo el “tamaño” de las ideas tiene que ser considerado. Lo que hace tan difícil identificar las grandes ideas, es que esta identificación depende de los juicios relativos a su relevancia e importancia en la educación general de toda la población. No podemos empaquetar el conjunto de las ciencias en las metas del curriculum, por lo que es necesario considerar qué se puede dejar fuera. ¿Podría ser por ejemplo, que los casos que acabamos de mencionar – el Gran Colisionador de Hadrones y la genómica- no sean considerados prioritarios en este contexto? Muchos intentos para identificar el listado comienzan con la intención de incluir sólo un número pequeño de ideas y terminan con los que es esencialmente un reordenamiento del contenido familiar. Es tan difícil decir que ciertos hechos e ideas no son necesarios. Es por eso que no creemos que sea útil identificar el contenido detallado que hay que aprender, sino más bien mantener las ideas que:

- se pueden aplicar universalmente
- se pueden desarrollar a través de una variedad de contenidos, elegidos por ser relevantes, interesantes y motivadores
- se pueden aplicar a nuevos contenidos y, además, permiten a los estudiantes comprender situaciones y eventos, hasta ahora desconocidos, que pueden encontrar en sus vidas.

Esto coloca énfasis en los procesos de aprendizaje y de aplicación del conocimiento de manera que las poderosas herramientas que proporcionan las grandes ideas sean utilizadas eficazmente para interpretar y entender el mundo cambiante.

Estas consideraciones influyen en los criterios para seleccionar las grandes ideas. Combinando diversas sugerencias que se han presentado, se llegó a la conclusión de que las grandes ideas deberían:

*Las ideas seleccionadas deberían contribuir a la satisfacción de comprender la naturaleza de la actividad científica y lo que ha resultado de ella*

- tener poder explicativo en relación con un gran número de objetos, acontecimientos y fenómenos a los que se enfrentan los estudiantes en sus vidas durante y después de sus años escolares
- proporcionar una base para comprender los problemas involucrados en la toma de decisiones que afectan su salud y el bienestar de los demás, el medio ambiente y el uso de la energía
- proporcionar satisfacción por estar en condiciones de responder o buscar respuestas al tipo de preguntas que se hacen las personas acerca de sí mismos y el mundo natural
- tener un significado cultural - por ejemplo, en cuanto afecta la visión sobre la condición humana – reflejando los logros en la historia de la ciencia, la inspiración desde el estudio de la naturaleza y los impactos de la actividad humana sobre el medio ambiente.

En conjunto, estos criterios sugieren que las ideas se seleccionan no exclusivamente para servir a un propósito instrumental, sino para contribuir a la satisfacción de comprender la naturaleza de la actividad científica y lo que se ha puesto de manifiesto a través de ella. Esto lleva a la pregunta sobre la inclusión de las ideas *sobre* la ciencia y de cómo la ciencia es utilizada, además de las ideas *de* la ciencia.

### **¿Deberían las grandes ideas incluir ideas sobre la ciencia y sobre cómo ésta es usada?**

La pregunta de si se debe limitar la discusión a las grandes ideas *de* la ciencia - las teorías, principios y modelos que explican los fenómenos en el mundo natural – o incluir las grandes ideas *sobre* los procesos que llevan a estas teorías, principios y modelos, refleja el debate filosófico sobre la naturaleza de la ciencia. Hasta cierto punto lo hemos esquivado, afirmando que nuestra visión es que la ciencia es multifacética, que abarca conocimientos sobre el mundo y sobre los procesos de búsqueda de ese conocimiento. En la educación en ciencias estos aspectos caben juntos, porque lo que queremos que los estudiantes comprendan incluye los procesos de la actividad científica, así como las ideas a que ésta ha conducido. De hecho, es difícil imaginar estos dos aspectos por separado en la educación en ciencias, ya que, sin saber cómo las ideas se desarrollaron, el aprendizaje de las ciencias requeriría de la aceptación ciega de las muchas ideas sobre el mundo natural que se oponen al sentido común.

Por otra parte, epistemológicamente, la relación entre el contenido y los procesos de la ciencia es menos evidente. La base de la evidencia para las ideas de contenido sobre el mundo natural se encuentra en la conducta de las entidades y organismos, mientras que la base de la evidencia de las ideas sobre los procesos de la ciencia es la actividad de las personas, de los científicos que generan estas ideas sobre contenido. A ningún tipo de idea

se llega de manera libre del juicio humano, pero las ideas acerca de los procesos son más fácilmente discutibles desde este punto de vista.

Sin embargo, las razones para querer definir las grandes ideas científicas ofrecen sólidos argumentos para la inclusión de ideas sobre la actividad científica. En un mundo cada vez más dependiente de las aplicaciones de la ciencia, los jóvenes pueden sentirse impotentes si no tienen cierta comprensión no solo de cómo algo puede ser explicado, sino que también, de cómo evaluar la calidad de la información en las cuales se basan las explicaciones. En ciencia esta evaluación depende de los métodos utilizados para recopilar, analizar e interpretar los datos. El cuestionar la base de las ideas nos permite a todos rechazar afirmaciones que se basan en pruebas falsas y reconocer cuando la evidencia está siendo utilizada de manera selectiva para apoyar acciones particulares. Esta es una parte clave del uso de los conocimientos científicos para evaluar las pruebas con el fin de tomar decisiones sobre el uso de los recursos naturales. Estas capacidades se describen con frecuencia como constitutivas de la "alfabetización científica". Sin embargo, el uso de este término se ha extendido tan lejos que su significado se ha vuelto incierto, y por esta razón no lo hemos usado en esta discusión.

### **Resumen de las grandes ideas seleccionadas**

La discusión de estos temas nos ha llevado a la selección de la siguiente lista de ideas que deberían ser alcanzadas al final de la escolaridad obligatoria. Las breves notas que aquí se presentan no están destinadas a ser resúmenes completos sino que se limita a indicar el ámbito de cada una. En la Sección 3 se expresan las ideas en una forma narrativa que es más apropiada para indicar progresión.

*En un mundo cada vez más dependiente de las aplicaciones de la ciencia, los jóvenes pueden sentirse impotentes si no tienen cierta comprensión no solo de cómo algo puede ser explicado, sino que también, de cómo evaluar la calidad de la información en la que se basan las explicaciones*

## Ideas *de* la ciencia

### 1 **Todo material en el Universo está compuesto de muy pequeñas partículas**

Los átomos son los bloques estructurales de todos los materiales que constituyen lo vivo y lo no vivo. El comportamiento de los átomos explica las propiedades de diferentes materiales. Las reacciones químicas involucran un reordenamiento de átomos en las sustancias para formar nuevas sustancias. Cada átomo tiene un núcleo, el que contiene neutrones y protones, rodeado por electrones. La carga eléctrica contraria entre protones y electrones hace que se atraigan entre sí, manteniendo los átomos unidos y dando cuenta de la formación de nuevos componentes.

### 2 **Los objetos pueden afectar a otros objetos a distancia**

Los objetos pueden afectarse a distancia. En algunos casos, como por ejemplo el sonido y luz, su efecto es a través de radiación la cual viaja desde la fuente hacia el receptor. En otros casos la acción a distancia es explicada en términos de la existencia de un campo de fuerza entre objetos, por ejemplo el campo magnético, o el campo gravitacional que es universal.

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

Los objetos cambian su velocidad de movimiento sólo si sobre ellos actúa una fuerza neta. La gravedad es una fuerza de atracción universal entre todos los objetos, sin importar lo grande o pequeños que sean, manteniendo los planetas en órbita alrededor del Sol y haciendo que los objetos terrestres sean atraídos hacia el centro de la Tierra.

### 4 **La cantidad total de energía en el Universo es siempre la misma, pero la energía puede transformarse cuando algo cambia o se hace ocurrir**

Todos los procesos o eventos involucran cambios y algunos procesos requieren de energía para ocurrir. La energía puede ser transferida desde un cuerpo a otro en varias formas. En estos procesos algo de energía cambia a una forma menos fácil de utilizar. Una vez utilizada, la energía proveniente de combustibles fósiles, ya no está disponible en una forma conveniente para su uso. La energía no puede ser creada o destruida.

### 5 **La composición de la Tierra y de su atmósfera, y los fenómenos que ocurren en ellas, le dan forma superficie de la Tierra y afectan su clima**

En la superficie de la Tierra, la radiación del Sol calienta la superficie y provoca corrientes de convección en el aire y los océanos, generando los climas. Bajo la superficie, el calor del interior de la Tierra provoca movimientos en la roca fundida. La superficie sólida está en constante cambio a través de la formación y erosión de la roca.

## **6 Nuestro sistema solar es una parte muy pequeña de una de los millones de galaxias en el Universo**

Nuestro Sol, los ocho planetas y otros objetos más pequeños en órbita componen el sistema solar. El día, la noche y las estaciones del año, se explican por la orientación y rotación de la Tierra en su movimiento alrededor del Sol. El sistema solar es parte de una galaxia de estrellas, entre muchos millones de galaxias existentes en el Universo separadas por enormes distancias, muchas de las estrellas poseen planetas.

## **7 Los organismos están organizados en base células**

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

## **8 Los organismos necesitan de 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 materiales y energía para llevar a cabo las funciones básicas de la vida y para crecer. Algunas plantas y bacterias son capaces de utilizar la energía del sol para generar moléculas complejas de nutrientes. Los animales obtienen energía rompiendo las moléculas complejas y son en último término dependientes de la energía proveniente de las plantas verdes. En cualquier ecosistema hay competencia entre las especies por la energía y los materiales que necesitan para vivir y reproducirse.

## **9 La información genética se transmite de una generación de organismos a la siguiente generación**

La información genética de una célula se encuentra en la sustancia química ADN, en la forma de un código de cuatro letras. 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 individuo. En la reproducción sexual la mitad de los genes provienen de cada padre.

## **10 La diversidad de organismos, tanto de los actuales como de los extintos, es el resultado de la evolución**

La vida existente es descendiente directa de un ancestro común y universal que fue un simple organismo unicelular. A través de un sinnúmero de generaciones, se produjeron cambios como resultado de la diversidad natural dentro de una especie que hacen posible la selección de los individuos más aptos para sobrevivir en determinadas condiciones. Los organismos que no pueden responder a los cambios en su entorno se extinguen.

## Ideas *acerca* de la ciencia

### **11 La ciencia supone que por cada efecto hay una o más causas**

La ciencia es una búsqueda para explicar y comprender los fenómenos en el mundo natural en términos de causas. Las explicaciones propuestas deben basarse en evidencia obtenida a partir de observaciones y experimentos. No hay un solo método científico para generar y probar las explicaciones científicas.

### **12 Las explicaciones, las teorías y modelos científicos son aquellos que mejor dan cuenta de los hechos conocidos en su momento**

Una teoría científica o modelo que representa las relaciones entre las variables o componentes de un sistema debe ajustarse a las observaciones disponibles en el momento y conducir a predicciones que puedan de ser sometidas a prueba. Cualquier teoría o modelo es provisional y está sujeto a revisión a la luz de nuevos datos aunque haya conducido a predicciones de acuerdo a los datos del pasado. Cada modelo tiene sus fortalezas y limitaciones para dar cuenta de las observaciones.

### **13 El conocimiento producido por la ciencia se utiliza en algunas tecnologías para crear productos que sirven a propósitos humanos**

El uso de ideas científicas en tecnologías ha introducido cambios considerables en muchos aspectos de la actividad humana. Los avances en las tecnologías permiten seguir avanzando con la actividad científica, a su vez, esto aumenta la comprensión permitiendo satisfacer la curiosidad humana sobre el mundo natural. En algunas áreas la actividad humana, la tecnología ha avanzado más que las ideas científicas, pero en otras áreas las ideas científicas preceden a la tecnología.

### **14 Las aplicaciones de la ciencia tienen con frecuencia implicancias éticas, sociales, económicas y políticas**

La utilización de los conocimientos científicos en las tecnologías hace posibles muchas innovaciones. Si una particular aplicación de la ciencia es deseable o no, es algo que no puede abordar la ciencia por sí misma. Pueden ser necesario juicios éticos y morales basados en consideraciones tales como la seguridad humana y los impactos sobre las personas y el medio ambiente.

## Sección Tres

# De las pequeñas a las grandes ideas en ciencias

Es evidente que las grandes ideas que hemos identificado son complejas y en su mayoría implican abstracciones que van mucho más allá del alcance de los niños pequeños. No se puede enseñar en esta forma; cualquier intento de hacerlo sólo podría generar la memorización de palabras que tienen poco significado en relación con los acontecimientos del mundo natural. Es así que debemos preguntarnos, a través de qué caminos los niños desarrollan estas grandes ideas de y sobre la ciencia, comenzando por sus primeras exploraciones de los objetos y acontecimientos a su alrededor.

### Las ideas tempranas de los niños sobre el mundo que les rodea

Uno de los hallazgos provenientes de los estudios sobre los bebés temprano después del nacimiento, a través de la observación de cómo mueven sus cabezas y sus ojos, es que ellos miran especialmente hacia líneas rectas y contrastes - les gustan las rayas y las esquinas - y sus ojos siguen el contorno de los objetos que se les muestran, aparentemente distinguiendo los objetos de su entorno. También se fascinan con el movimiento, y siguiendo el movimiento de los objetos que ven a su alrededor, ellos pronto pueden predecir dónde se encontrará un objeto que está en movimiento a pesar de que parte de la trayectoria sea oscura; si una pelota pasa por detrás de una pantalla, ellos miran el punto donde la pelota aparecerá nuevamente. Utilizando estos métodos, los investigadores han deducido que en el primer año de vida los bebés entienden que los objetos inanimados no pueden moverse solos, mientras que los objetos animados sí lo pueden hacer.

Dos ideas son particularmente importantes para entender el mundo alrededor: la permanencia de los objetos y la causalidad. La idea de que los objetos que parecen desaparecer todavía existen necesita tiempo para desarrollarse. Si la pelota no aparece por detrás de la pantalla, el bebé muy pequeño muestra desconcierto, pero no parece considerar que todavía está allí. La causalidad se deduce de la observación de que algún efecto sigue invariablemente una cierta acción. Los bebés muy pronto descubren que pueden hacer que algo suceda y para su primer cumpleaños parecen distinguir entre la causalidad psicológica (por ejemplo, obtener una respuesta de un padre, con una sonrisa o llanto) y de la causalidad física

(dejar caer las cosas). En efecto, como se ha expuesto en la Sección 2, los niños pequeños parecen reaccionar a los acontecimientos y fenómenos de forma tal que reflejan diferencias entre dominios, entre los movimientos, los seres vivos, las diferentes sustancias.

Hay una inmensa cantidad de investigación sobre las ideas de los niños que muestran que al momento de entrar a la escuela, ellos ya se han formado ideas acerca de muchos aspectos del mundo, incluyendo ideas científicas. Como se trata de ideas que los niños han desarrollado por sí mismos, y que por lo tanto, tienen sentido para ellos, no son fácilmente cambiables, sobre todo por ideas "científicas" que a menudo son contra-intuitivas (por ejemplo, que un objeto en movimiento continuará moviéndose a menos que haya una fuerza que actúa sobre el, en vez de detenerse por sí mismo). Las ideas de los niños tienen que ser tomadas como punto de partida para avanzar hacia ideas más científicas que sean consistentes con su rango más amplio de experiencias.

### Modelos de progresión

Cómo se les ayuda a los niños a realizar estos cambios depende de cómo se perciba el proceso de desarrollo de ideas. Consideremos, por ejemplo, tres diferentes formas de contemplar la progresión

- Una forma de ver la progresión es como el **proceso de subir una escalera**. Cada paso tiene que ser completado antes de que el siguiente paso se pueda dar. Esta es una analogía atractiva que a veces se toma como base para la creación de un conjunto de actividades de aprendizaje cuidadosamente diseñadas que se suceden en una secuencia invariable. Se supone que la lógica que determina esta secuencia de pasos se ajusta a cómo los niños le dan sentido a la experiencia. Las "escaleras" que se han propuesto (por ejemplo, *Altas of Science Literacy Volúmenes 1 y 2*, de la American Association for the Advancement of Science (AAAS)), toma en cuenta lo que se sabe sobre cómo los niños aprenden, pero tienen que suponer que esta forma es la misma para todos, que todos los estudiantes se sentirán cómodos subiendo la misma escalera. También, como hemos sugerido en la discusión del Principio 5, las razones para subir cada tramo pueden no ser evidentes para el alumno quien no llega a la "comprensión total" sino hasta llegar a la cima de la escalera.
- Una visión alternativa es considerar el progreso como lateral en lugar de vertical, con grandes ideas extendiéndose gradualmente a partir de otras más pequeñas, no necesariamente en una progresión gradual. Parte del proceso puede ser imaginado como **completar un rompecabezas**. Aunque las piezas se pueden ensamblar en cualquier secuencia, ayuda comenzar ensamblando una pocas piezas relacionadas

entre sí para formar secciones más grandes que pueden ser más fácilmente reconocibles como partes del todo. Los patrones creados hacen más fácil ver qué piezas tendrán más probabilidad de acoplarse generando una sección más grande. Sin embargo, no todos funcionan de esta manera, algunos armadores de puzzles prefieren seleccionar las piezas y por ejemplo juntar las que tienen lados rectos para comenzar desde los bordes. Esta analogía llama la atención al hecho de que es mucho más fácil resolver el problema (y aprender) cuando hay una imagen del puzzle completo (la gran idea) que sirve de guía, en comparación con no saber lo que puede suceder cuando las piezas se junten. La analogía se rompe, sin embargo, si tenemos en cuenta que los niños están todo el tiempo enfrentando una nueva experiencia, tanto en la educación formal como en la vida cotidiana, y esto tiene que ser incorporado a su imagen creciente sobre cómo funcionan las cosas, de manera que el número de piezas cambia a medida que pasa el tiempo. Pero los procesos de búsqueda de patrones y de asociar piezas relacionadas siguen siendo relevantes.

- Otro modelo propuesto es un modelo de entrenamiento, en el cual el aprendizaje se asemeja al **entrenamiento para una maratón**. La capacidad para "lograr la distancia" se construye poco a poco, corriendo distancias cortas al principio y luego en forma gradual distancias más largas. El "currículum en espiral" se parece a esto, ya que las ideas de determinados dominios son revisitadas a intervalos y se espera que se vayan haciendo más poderosas cada vez. Idealmente permite tomar decisiones sobre cuán lejos llegar en cada sesión de entrenamiento (tópico relacionado con el desarrollo de una idea), en base al logro alcanzado anteriormente, pero en la práctica cada sesión está predeterminada, con lo que se incurre en los mismos errores que en el modelo de escalera.

Algo de cada uno de estos modelos es probablemente necesario, porque las formas de abordar las ideas propias de los niños y transitar desde las más pequeñas a las más grandes, varía según la naturaleza de la idea y las experiencias que conducen a ella. Por ejemplo, en algunos casos los niños tienen diferentes ideas acerca de un mismo fenómeno según el contexto y necesitan ayuda para vincularlos y darse cuenta que la idea más científica se aplica a ambos (rompecabezas). Con frecuencia sus ideas se basan en experiencia limitada y esto ha de ser extendido con el fin de llevarla hacia una idea de amplia aplicación (entrenamiento). O bien es posible que el razonamiento de los niños sea limitado de manera que ellos noten sólo aquella evidencia que confirma su idea o que retengan una idea, a pesar de la existencia de evidencia contraria, por falta de una alternativa que le de sentido, y que requiere ser introducido (escalera).

*Cuando los estudiantes tratan de dar sentido a nuevas experiencias, comienzan de ideas que ya tienen; lo mismo hacen los científicos cuando tratan de explicar fenómeno y avanzar en la comprensión*

Cuando se trata de dar sentido a una nueva experiencia, ya sea dentro o fuera del aula, los estudiantes parten de las ideas que ya tienen, así también lo hacen los científicos cuando tratan de explicar los fenómenos y avanzar en la comprensión. Las ideas “crecen”, al vincularse a nueva experiencia y se someten a prueba para ver si ayudan a entender la nueva experiencia. Si una idea potencialmente útil, conduce a una predicción que se ajusta a la evidencia de la nueva experiencia, entonces la idea se convierte en algo un poco “más grande”, porque entonces explica una gama más amplia de fenómenos. Incluso si ésta “no funciona” – y una idea alternativa debe ser probada - la experiencia habrá ayudado a refinar la idea. Mediante estos procesos se produce un cambio no sólo en el número de ideas y eventos que puedan ser comprendidos, sino también un cambio cualitativo en las ideas. Las ideas científicas que se caracterizan por ser ampliamente aplicables, no dependen del contexto; por ejemplo, una idea sobre qué hace que las cosas floten que puede ser usada para todos los objetos y todos los fluidos. Para pasar de una idea de por qué un determinado objeto flota en el agua a la gran idea de la flotación, hay que dar un gran paso que involucra ver patrones de lo que ocurre en distintas situaciones.

Entender el progreso de las ideas, como una extensión gradual desde ideas acerca de eventos u objetos particulares hacia ideas poderosas que explican una amplia gama de experiencias, tiene clara implicancia para la pedagogía. Retomaremos estas implicancias en la Sección 4, deteniéndonos en este punto sólo para hacer notar que no estamos suponiendo que los estudiantes llegarán a sus ideas en forma individual e independiente, sino más bien a través de un proceso de indagación, interacción y de compartir con otros.

### **Progresión hacia las grandes ideas de la ciencia**

Para cada una de las grandes ideas brevemente identificadas en la última sección, el objetivo aquí es establecer las ideas pequeñas o iniciales, seguidas por las ideas más grandes, que pueden ser desarrolladas para abarcar una gama más amplia de experiencias, conduciendo a las ideas aún más amplias y abstractas que nos permiten la comprensión de objetos, fenómenos y las relaciones en el mundo natural. Lo mismo vale para el caso de cómo se logra esta comprensión, es decir las ideas sobre la ciencia.

Al nivel de generalización que hemos elegido para identificar las grandes ideas, siguiendo la discusión de la página 18, algunas pequeñas ideas, inevitablemente contribuyen a varias ideas grandes. Por ejemplo, las ideas sobre la gravedad son necesarias en la formación de grandes ideas acerca de las fuerzas a distancia, así como el efecto de las fuerzas y el sistema Solar. Del mismo modo el impacto de la actividad humana sobre los

organismos y el ambiente es parte de la historia de competencia entre especies, diversidad de organismos y de aplicaciones de ciencias.

Bajo cada título, comenzamos con las ideas pequeñas y contextualizadas que los niños en la escuela primaria serán capaces de comprender a través de actividades de aprendizajes apropiadas y apoyo. Estas son seguidas por ideas que pueden desarrollar los estudiantes de los primeros años de enseñanza secundaria, en la medida que el aumento de su capacidad de pensamiento abstracto les permite ver la conexión entre los eventos u observaciones (por ejemplo, que ciertos cambios pueden explicarse en términos de transferencia de energía, o que las propiedades de los materiales pueden explicarse considerando que la materia está compuesta de partículas). En la medida que la exploración del mundo natural avanza en los últimos cursos de la educación media, la creación de más patrones y conexiones permite a los estudiantes entender relaciones y modelos que contribuyen a entender una amplia gama de experiencias nuevas y previas.

Al describir estas progresiones, no hemos tratado de establecer límites entre lo que se puede aprender en los años 1-3, 4-6, etc. No estamos convencidos de que sea posible, ni necesariamente útil, identificar límites definidos, dado que existe cierta diversidad en los caminos que sigue el desarrollo cognitivo de cada niño. Más bien, creemos que lo importante es que exista una la dirección general del progreso hacia marcos explicativos útiles. Cuán lejos los niños puedan moverse en esa dirección en un momento dado, depende de una serie de variables de contexto, entre ellos la pedagogía que vivencian, como se comenta en la siguiente sección.

# 1 Todo material en el Universo está compuesto de muy pequeñas partículas

Todo lo que constituye las “cosas” que se encuentran en la vida cotidiana, incluyendo el aire, el agua y diferentes tipos de sustancias sólidas, se llama material, ya que tiene masa y ocupa espacio. Los distintos materiales se reconocen por sus propiedades, algunas de las cuales se utilizan para clasificarlos como sólidos, líquidos o gaseosos.

Cuando algunos materiales se combinan forman un nuevo material con diferentes propiedades que el material original, otros materiales simplemente se mezclan sin cambio permanente y se puede separar de nuevo. Los materiales también pueden cambiar por calentamiento o enfriamiento. La cantidad de material no cambia cuando un sólido se funde o un líquido se evapora.

Si un material se dividiera cada vez en partes más y más pequeñas, se podría comprobar que está hecho de partes, partículas, tan pequeñas que no pueden ser vistas ni con el microscopio. Estas partículas no se encuentran *en* un material, sino que *son* el material. Todas las partículas en un material particular son iguales entre sí y diferentes a las de otros materiales. Las partículas no son estáticas sino que se mueven al azar en distintas direcciones. La velocidad a la que se mueven se experimenta como la temperatura del material. Las partículas pueden atraerse o repelerse entre sí. Las diferencias entre sólidos, líquidos y gases pueden explicarse en términos del movimiento de las partículas y la separación, y la fuerza de la atracción entre las partículas vecinas. Cuanto más fuerte es la fuerza de atracción entre las partículas, más energía se necesita para separarlas, por ejemplo en el paso de sólido a líquido o de líquido a gas. Esto explica por qué los materiales tienen distintos puntos de fusión y distintos puntos de ebullición.

La parte más pequeña de un material se llama átomo. Todos los materiales, en cualquier lugar del universo, viviente o no viviente, están formados por gran número de estas unidades básicas de las cuales hay cerca de 100 tipos diferentes. Las sustancias conformadas por un solo tipo de átomo se llaman elementos. Los átomos de elementos diferentes se pueden combinar entre sí para formar un gran número de compuestos. Una reacción química, involucra un reordenamiento de las sustancias que reaccionan para formar nuevas sustancias, mientras que la cantidad total de materia se mantiene igual. Las propiedades de los diferentes materiales se pueden explicar en términos del comportamiento de los átomos o grupos de átomos de los cuales están hechos.

Los átomos tienen una estructura interna, que consiste en un núcleo, compuesto de protones y neutrones, rodeado por electrones. Los electrones y los protones tienen carga eléctrica - la de un electrón se llama negativa y la de un protón, positiva. Los átomos son neutros ya que las cargas se equilibran. Los electrones se mueven rápidamente en la materia, formando corrientes eléctricas y generando fuerzas magnéticas. Cuando algunos electrones se pierden o añaden, los átomos adquieren una carga positiva o negativa y se llaman iones. En algunos átomos el núcleo es inestable y puede emitir una partícula, un proceso llamado radiactividad. Este proceso implica la emisión de radiación y una cantidad de energía mucho mayor que cualquier otra reacción entre átomos.

## 2 Los objetos pueden afectar a otros objetos a distancia

Los objetos pueden tener un efecto sobre otros, incluso cuando no están en contacto con ellos. Por ejemplo, la luz se ve desde fuentes como las ampolletas o llamas cercanas y del Sol y las estrellas a distancias muy lejanas. Esto se debe a que estos objetos emiten luz, que viaja desde ellos en varias direcciones y es detectada cuando llega a nuestros ojos. Las cosas que se ven, emiten o reflejan luz que el ojo humano puede detectar. El sonido proviene de cosas que vibran y pueden detectarse a distancia a una distancia de la fuente, porque el aire u otro material alrededor vibra. Los sonidos son escuchados cuando las vibraciones en el aire llegan a nuestros oídos.

Otros ejemplos de objetos que afectan a otros objetos sin tocarlos, son la fuerza de la gravedad que hace que las cosas caigan a la Tierra, las fuerzas entre imanes o cargas eléctricas. Cuando las cosas sin soporte se caen, están siendo arrastradas por la fuerza de atracción de la Tierra, que mantiene a las cosas unidas a la Tierra. Los imanes pueden atraer a las cosas hechas de hierro y atraer o repeler otros imanes sin tocarlos. También existe la atracción y la repulsión entre los objetos que están cargados eléctricamente.

La luz visible es un ejemplo de radiación, que se transmite de un modo parecido a las ondas que se propagan a través del agua. Otros tipos de luz no son visibles al ojo humano e incluyen las ondas de radio, microondas, infrarrojo, ultravioleta, rayos X y la radiación gamma, que difieren entre sí en longitud de onda. Todas ellas pueden viajar a través del espacio vacío. Pensar en la radiación como ondas puede ayudar a explicar cómo se comporta. Aunque el sonido se expande como ondas no puede viajar a través del espacio vacío; tiene que haber un material continuo entre las fuentes y el receptor para que las vibraciones viajen.

Cuando la radiación choca con otro objeto, puede ser reflejada, absorbida, dispersada o pasar a través de éste, o una combinación de estas posibilidades. Cuando se refleja en un espejo o se transmite a través de un material transparente, la radiación sigue siendo la misma, pero cuando se absorbe en un objeto, cambia y por lo general provoca un aumento de la temperatura del objeto.

Algunos casos de la acción a distancia, no se explican en términos de radiación de una fuente a un receptor. Un imán, por ejemplo, puede atraer o repeler a otro imán y ambos juegan a partes iguales. Del mismo modo, la atracción y repulsión entre cargas eléctricas es recíproca. La caída que se manifiesta cuando un objeto se libera, también es el resultado de la atracción a distancia - entre el objeto y la Tierra. Existe una fuerza gravitatoria entre los objetos, que depende de su masa y la distancia de separación que se percibe cuando uno o más objetos tienen una masa muy grande, como en el caso de la atracción que ejerce la Tierra. La idea de campo es útil para pensar sobre estas situaciones. Un campo es la región de influencia del objeto a su alrededor, la fuerza del campo disminuye con la distancia desde el objeto. Cuando otro objeto entra en este campo se produce un efecto –una atracción o una repulsión.

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

Las fuerzas pueden empujar, tirar o doblar objetos, haciéndolos cambiar su forma o el movimiento. Las cosas sólo cambian su movimiento si hay una fuerza neta que actúa sobre ellos. Cuán rápido se cambia el movimiento de un objeto depende de la fuerza y la masa del objeto. Cuanto mayor sea la masa de un objeto, más tiempo se tarda en acelerar o desacelerar, una propiedad de la masa que se describe como inercia.

La gravedad es una fuerza universal de atracción entre todos los objetos, sean grandes o pequeños, que resulta en que los objetos que se encuentran en la tierra son atraídos al centro. Identificamos esta fuerza como el peso del objeto. El objeto tira a la Tierra tanto como la Tierra tira al objeto, pero al ser la masa de la Tierra mucho más grande, se observa el movimiento resultante del objeto, no de la Tierra. La fuerza de gravedad sobre un objeto en la Luna es menor que en la Tierra, porque la Luna tiene menos masa que la Tierra, es por eso que una persona en la Luna parece pesar menos que en la Tierra a pesar de que su masa es la misma. La atracción de la Tierra sobre la Luna la mantiene orbitando alrededor de la Tierra, mientras que la atracción de la Luna sobre la Tierra da lugar a las mareas.

Un objeto que se mantiene en reposo sobre la superficie de la Tierra tiene una o más fuerzas actuando sobre él que contrarrestan la fuerza de gravedad. Un libro sobre una mesa no se cae porque los átomos en la mesa están empujando el objeto hacia arriba con una fuerza igual a la fuerza de la gravedad.

Cuando las fuerzas que actúan sobre un objeto no son iguales y de dirección opuesta, su efecto resultante es el cambio de movimiento del objeto, para acelerarlo o hacerlo más lento. Por el contrario, el movimiento de un objeto no cambia a menos que haya una fuerza neta que actúa sobre él. A menudo, la fuerza que está actuando no es reconocida como una fuerza y un objeto en movimiento, como una pelota que rueda, se supone que frenará de forma automática. De hecho este movimiento está siendo gradualmente enlentecido por la fuerza de fricción. En todos los casos el cambio en el movimiento se debe a fuerzas no equilibradas. Si no hay fuerza neta que actúe, el movimiento no va a cambiar: el objeto permanecerá estacionario o si está en movimiento, se mantendrá moviéndose en línea recta, como las estrellas en el cielo. El cambio de movimiento ocurre en la dirección de la fuerza neta. Los satélites permanecen en órbita alrededor de la Tierra debido a que son enviados con la fuerza suficiente para llegar a una altura a la cual, su movimiento se mantiene en una órbita curva alrededor de la Tierra debido a la fuerza de gravedad que cambia constantemente la dirección del movimiento y no hay resistencia del aire para enlentecerlos.

Cuando las fuerzas opuestas actúan sobre un objeto sólido no están en la misma línea, actúan para girar o doblar el objeto. El efecto de una fuerza de giro depende de su distancia desde el eje alrededor del cual gira. Esto tiene muchas aplicaciones en herramientas y máquinas.

La presión es una medida de la magnitud de una fuerza que actúa sobre un área particular. Una fuerza distribuida sobre un área más grande produce menos presión que cuando se distribuye

sobre un área más pequeña, una relación con muchas aplicaciones, desde zapatos de nieve a chinches para colgar.

## **4 La cantidad de energía del Universo siempre es la misma, pero la energía puede transformarse cuando algo cambia o se hace ocurrir**

Hay varias formas en que las cosas pueden cambiarse o hacerse ocurrir. Se puede cambiar el movimiento de las cosas al empujar o tirar. El calentamiento también las puede cambiar como al cocinar, fundir los sólidos o cambiando el agua a vapor. La electricidad puede hacer que las ampollitas se iluminen.

En todos estos casos, lo que se necesita para producir el cambio se llama energía y en el proceso de cambio la energía se transfiere de un objeto a otro. Un objeto que transfiere energía a otro se llama fuente de energía, aunque esto no significa que “cree” energía sino que la obtiene de sí mismo o de otra fuente.

Los objetos poseen energía debido a su composición química (como en los combustibles y pilas), su movimiento, su temperatura, su posición en un campo gravitatorio u otro campo, o debido a la compresión o distorsión de un material elástico. La energía puede ser almacenada levantando un objeto más alto que el nivel del suelo de manera que cuando se libera y cae, esta energía almacenada puede hacer cambiar algo. Cuando un objeto se calienta tiene más energía que cuando está frío. El calor se mueve desde un objeto que está a una temperatura superior hacia otro con el cual está en contacto y que se encuentra a una temperatura menor, hasta que ambos objetos llegan a la misma temperatura. La rapidez de este proceso dependerá del tipo de material por el cual fluye el calor. Los productos químicos en las celdas de una batería almacenan la energía que se libera cuando la batería está conectada generando una corriente eléctrica que transporta la energía. La energía puede ser transportada por la radiación, como el sonido en el aire o la luz en el aire o el vacío.

Muchos de los procesos y fenómenos se explican en términos de intercambios de energía, desde el crecimiento de las plantas, al tiempo atmosférico. La transferencia de energía que hace que las cosas sucedan generalmente resulta en la producción de energía térmica indeseada que se distribuye por conducción o radiación. La energía térmica es el movimiento al azar de los átomos y moléculas y la energía no puede ser fácilmente utilizada de esta forma.

La energía no puede crearse ni destruirse. Cuando la energía se transfiere de un objeto a otro, la cantidad total de energía en el universo se mantiene igual; la cantidad que un objeto pierde es la misma que otros objetos ganan. Cuando el Sol calienta la Tierra, el Sol va gradualmente perdiendo energía por radiación. La masa de los átomos es una forma de energía almacenada, llamada energía nuclear. Los átomos radiactivos pueden liberar esta energía y hacerla disponible en forma de calor.

En todo el mundo, la demanda por energía aumenta en la medida que las poblaciones humanas crecen y porque los estilos de vida modernos requieren más energía, sobre todo en la forma de energía eléctrica. Puesto que los combustibles, utilizados con frecuencia en centrales eléctricas y generadores, son un recurso limitado, se debe buscar otras formas de generación de electricidad, al mismo tiempo que reducir la demanda mejorando la eficiencia de los procesos en los que la usamos.

## 5 La composición de la Tierra y de la atmósfera y los fenómenos que ocurren en ellas le dan forma a la superficie de la Tierra y afectan su clima

Hay aire en toda la superficie de la Tierra, pero hay cada vez menos mientras más nos alejamos de la superficie (más alto en el cielo). El tiempo atmosférico está determinado por las condiciones del aire. La temperatura, la presión, la dirección y velocidad del movimiento y la cantidad de vapor de agua en el aire se combinan para crear el tiempo atmosférico. La medición de estas propiedades a través del tiempo permite encontrar patrones que pueden usarse para predecir la probabilidad de ocurrencia de distintos tipos de tiempo atmosférico.

Gran parte de la superficie sólida de la Tierra está cubierta por suelo, que es una mezcla de trozos de roca de diversos tamaños y restos de organismos. El suelo fértil también contiene aire, agua, algunos productos químicos de la descomposición de los seres vivos, especialmente de plantas, y diversos seres vivos, como insectos, gusanos y bacterias. El material sólido que está bajo el suelo, es roca. Hay muchos tipos diferentes de rocas con diferente composición y propiedades. La acción del viento y el agua desgasta la roca gradualmente en trozos más pequeños - la arena está hecha de pequeños trozos de roca y barro de piezas aún más pequeñas.

La capa de aire en la superficie de la tierra es transparente a la mayor parte de la radiación solar que la atraviesa. Esta radiación, absorbida en la superficie de la Tierra, es la fuente de energía externa de la Tierra. La desintegración radiactiva del material dentro de la Tierra desde su formación es la energía interna de ésta. La radiación del sol proporciona la energía a las plantas que contienen clorofila para formar glucosa a través del proceso de la fotosíntesis. La radiación del Sol absorbida por la Tierra calienta la superficie que luego emite radiación de mayor longitud de onda (infrarrojo) que no pasa a través de la atmósfera, sino que es absorbida por ella y que la mantiene caliente. Esto se conoce como el efecto invernadero, ya que es similar a la forma en que se calienta el interior de un invernadero por el sol.

El oxígeno en la atmósfera, producido por las plantas durante la fotosíntesis, protege indirectamente a la Tierra de la radiación de onda corta (ultravioleta) que es parte de la radiación solar y muy perjudicial para muchos organismos. La acción de la radiación ultravioleta sobre el oxígeno de la atmósfera superior produce ozono, absorbiéndose esta radiación nociva. El ozono en la atmósfera se puede descomponer por la acción de ciertos productos químicos resultantes de las acciones humanas en la Tierra.

Debajo de la corteza sólida de la Tierra hay una capa caliente llamada el manto. El manto es sólido cuando está bajo presión, pero cuando la presión se reduce, se derrite (y se denomina magma). En algunos lugares de la corteza hay grietas (o regiones delgadas) que le permiten al magma salir a la superficie, por ejemplo en las erupciones volcánicas. La corteza terrestre se compone de una serie de placas sólidas que se mueven unas con respecto a las otras, impulsadas por los movimientos del manto. Cuando las placas chocan, se forman cadenas de montañas y fallas a lo largo del límite de placas, donde es probable que ocurran terremotos y se produzca actividad volcánica. La superficie de la tierra cambia lentamente en el tiempo, las montañas se erosionan y se forman nuevas montañas cuando la corteza se ve forzada hacia arriba.

## 6 Nuestro sistema solar es una parte muy pequeña de una de las millones de galaxias en el Universo

Nuestro Sol es una de las muchas estrellas que conforman el Universo. La Tierra se mueve alrededor del Sol tomando alrededor de un año por órbita. La Luna gira alrededor de la Tierra, demorándose alrededor de cuatro semanas en completar una órbita. El Sol, en el centro del sistema solar, es el único objeto en el sistema solar que es una fuente de luz visible. La Luna refleja la luz del Sol y cuando se mueve alrededor de la Tierra se ven sólo las partes iluminadas por el Sol, esto explica los cambios en la apariencia de la Luna en diferentes momentos. La Tierra rota sobre un eje que se extiende de norte a sur y este movimiento hace que parezca que el Sol, la Luna y las estrellas se mueven alrededor de la Tierra. Esta rotación, causa el día y la noche en la medida en que la superficie de la Tierra mira o no hacia el Sol.

Se requiere un año para que la Tierra gire alrededor del Sol, dando una vuelta completa en su órbita. El eje de la Tierra está inclinado respecto al plano de su órbita alrededor del Sol de manera que la duración del día varía con la posición de la superficie de la tierra y la época del año. La inclinación del eje de la Tierra da origen a las estaciones del año.

La Tierra es uno de los ocho planetas de nuestro sistema solar (conocidos hasta ahora) que, junto con muchos otros organismos más pequeños, orbitan alrededor del Sol en trayectorias aproximadamente circulares, a diferentes distancias del Sol y tomando distintos tiempos para completar una órbita. Las distancias entre estos cuerpos son inmensas- Neptuno está a 4,5 billones 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.

Ocasionalmente un trozo grande de roca que orbita alrededor del Sol se acerca lo suficiente a la Tierra como para ser atraída por su campo gravitatorio y acelera a través de la atmósfera, donde la fricción entre el aire y la superficie de la roca la calienta y hace resplandecer, haciendo que sea visto como una "estrella fugaz". Aparte de esto, los movimientos de objetos dentro del sistema solar son en su mayoría regulares y predecibles. Las mismas leyes científicas o generalizaciones acerca de cómo se comportan las cosas que aplican en la Tierra también se aplican al resto del Universo. Existe evidencia de las exploraciones espaciales de que han ocurrido cambios en la superficie de los planetas desde que estos se formaron.

La siguiente estrella más cercana a la Tierra está a una distancia mucho mayor que Neptuno que es el planeta más lejano. Nuestro Sol es una de las millones de estrellas que componen nuestra galaxia llamada Vía Láctea. Hay millones de galaxias en el universo, separadas por distancias inimaginablemente vastas, que se encuentran en movimiento y se alejan muy rápidamente unas de otras. Este movimiento de las galaxias sugiere que el Universo está en expansión desde un estado pasado llamado "big bang", hacia un futuro que aún no está claro.

## 7 Los organismos están organizados en base a células

Los seres vivos (organismos) se distinguen de lo no vivo por su capacidad para moverse, reproducirse y reaccionar a ciertos estímulos. Para sobrevivir, necesitan agua, aire, alimentos, de una forma de eliminar los residuos y de un entorno que se mantenga dentro de un determinado rango de temperatura. Todos los organismos vivos están compuestos de una o más células, que puede ser vistas sólo a través de un microscopio.

Todas las funciones básicas de la vida son el resultado de lo que sucede en las células. Las células se dividen para producir más células en el crecimiento y la reproducción, y extraen la energía de los alimentos, con el fin de llevar a cabo éstas y otras funciones. Algunas células en los organismos multicelulares, además de realizar las funciones comunes a todas las células, están especializadas; por ejemplo, el músculo, la sangre y las células nerviosas que realizan funciones específicas dentro del organismo. Las células se suelen agregar en tejidos, los tejidos en órganos y los órganos en los sistemas de órganos. En el cuerpo humano, los sistemas llevan a cabo las principales funciones de la respiración, digestión, eliminación de residuos y control de la temperatura. El sistema circulatorio lleva el material que necesitan las células a todas las partes del cuerpo y remueve los residuos solubles hacia el sistema urinario.

Dentro de las células hay muchas moléculas de diferentes clases que interactúan para llevar a cabo las funciones de la célula. En organismos multicelulares las células se comunican entre sí transfiriendo sustancias entre ellas para coordinar su actividad. La membrana que rodea cada célula juega un papel importante en la regulación de lo que puede entrar o salir de una célula. La actividad dentro de cada tipo de célula está regulada por las enzimas. Las hormonas, liberadas por tejidos y órganos especializados, regulan la actividad en otros órganos y tejidos y afectan el funcionamiento general del organismo. En los seres humanos, la mayoría de las hormonas se transportan en la sangre. La enfermedad es a menudo el resultado del mal funcionamiento de las células, muchos medicamentos funcionan acelerando o frenando los mecanismos de regulación de enzimas u hormonas. El cerebro y la médula espinal también contribuyen a la regulación de la actividad celular, mediante el envío de mensajes a lo largo de las células nerviosas en forma de señales eléctricas, que pueden desplazarse rápidamente entre las células.

Las células funcionan mejor en determinadas condiciones, particularmente de temperatura y acidez. Tanto las células individuales como los organismos multicelulares poseen mecanismos para mantener la temperatura y acidez dentro de ciertos límites que le permiten al organismo sobrevivir.

## 8 Los organismos requieren de suministro de energía y de materiales de los cuales con frecuencia dependen y por los que compiten con otros organismos

Todos los seres vivos necesitan energía para nutrirse, así como aire, agua y determinadas condiciones de temperatura. Las plantas que contienen clorofila pueden utilizar la luz solar para producir los nutrientes que necesitan y almacenar los que no usarán de inmediato. Los animales necesitan alimentos que puedan fragmentar y que obtienen comiendo directamente plantas (herbívoros) o comiendo animales (carnívoros) que han comido plantas u otros animales. Los animales dependen de las plantas para su subsistencia. Las relaciones entre los organismo puede representarse con las cadenas alimentarias y redes tróficas.

Algunos animales dependen de las plantas de otras maneras además de la alimentación, por ejemplo el refugio, y en el caso de los seres humanos la ropa y el combustible. Las plantas también dependen de los animales de diversas maneras. Por ejemplo, las plantas con flores dependen de insectos para la polinización y de otros animales para dispersar sus semillas.

Los organismos interdependientes que viven juntos en determinadas condiciones ambientales forman un ecosistema. En un ecosistema estable, hay productores de alimentos (plantas), consumidores (animales) y descomponedores, que son las bacterias y hongos que se alimentan de los desechos y organismos muertos. Los descomponedores producen materiales que ayudan a las plantas a crecer, de manera que las moléculas en los organismos son constantemente reutilizadas. Al mismo tiempo, la energía pasa a través del ecosistema. Cuando el alimento es usado por organismos en los procesos de la vida, parte de la energía se disipa como calor, pero se reemplaza en el ecosistema por la energía del Sol que es usada para producir nutrientes vegetales.

En todo ecosistema existe una competencia entre especies por la energía y los materiales que necesitan para vivir. La persistencia de un ecosistema depende de la continua disponibilidad de estos materiales en el medio ambiente. Las especies vegetales tienen adaptaciones para obtener el agua, la luz, los minerales, y el espacio que necesitan para crecer y reproducirse en lugares particulares que se caracterizan por condiciones climáticas, geológicas e hidrológicas. Si las condiciones cambian, las poblaciones de plantas pueden cambiar, dando como resultado un cambio de las poblaciones animales.

## 9 La información genética es transmitida de una generación de organismos a la siguiente generación

Los organismos vivos producen descendientes del mismo tipo, pero en muchos casos esa descendencia no es idéntica entre sí misma o con sus padres. Las plantas y los animales, incluyendo a los humanos, se parecen a sus padres en muchos aspectos porque la información es transmitida de una generación a la siguiente. Otras características, como las habilidades o el comportamiento, no son heredadas de la misma manera y deben ser aprendidas.

La información se pasa de generación en generación en la forma de un código que determina la manera en que se ensamblan las partes de una molécula muy grande llamada ADN. Un gen es un segmento de ADN; y un solo cromosoma contiene cientos o miles de genes. En el cuerpo humano la mayoría de las células contienen 23 pares de cromosomas con un total de cerca de 25 mil genes. Ellos proveen la información que se requiere para producir más células durante el crecimiento y la reproducción.

Cuando una célula se divide, como en los procesos de crecimiento y reposición de células muertas, la información genética es copiada de manera que cada nueva célula hija sea una réplica de la célula que le dio origen. A veces ocurre un error durante la replicación, causando una mutación, que puede ser o no perjudicial para el organismo. Los cambios en los genes pueden ser causados por condiciones ambientales, como la radiación o los químicos. Esos cambios pueden afectar al individuo pero sólo afectan a su descendencia si ocurren en las células sexuales (espermatozoides y óvulos).

En la reproducción sexual un espermatozoide del macho se une a un óvulo de la hembra. El espermatozoide y los óvulos son células especializadas, cada una de las cuales tiene una de las dos versiones de cada gen portado por los padres, seleccionados al azar. Cuando un espermatozoide y un óvulo se combinan, la mitad del material genético en el huevo fertilizado proviene del espermatozoide y la otra mitad del óvulo. Como el huevo fertilizado se divide una y otra vez el material genético se reproduce en cada nueva célula. La separación y recombinación del material genético cuando un espermatozoide y un óvulo se forman y después se fusionan resultan en una inmensa variedad de posibles combinaciones de genes y en diferencias que pueden ser heredadas de una generación a otra. Ello provee el potencial para la selección natural como resultado de que algunos organismos se encuentren mejor adaptados que otros a ciertas condiciones ambientales.

La reproducción asexual, que ocurre de manera natural en un amplio rango de organismos incluyendo algunas bacterias, insectos y plantas conduce a poblaciones con idéntico material genético. La biotecnología ha hecho posible la producción de organismos genéticamente idénticos a través de la clonación artificial en una variedad de especies incluyendo a los mamíferos.

A través del mapeo de los genomas de distintos organismos se continúa en la actualidad aprendiendo acerca de la información genética. Cuando se conocen las secuencias de los genes, el material genético puede cambiarse artificialmente para otorgar a los organismos algunas características. En la terapia génica se usan técnicas especiales para incorporar dentro de las células humanas genes que pueden algún día curar enfermedades.

# 10

## La diversidad de organismos, vivientes y extintos, es el resultado de la evolución

Hay diferentes tipos de plantas y animales en el mundo, y muchos tipos que vivieron alguna vez, pero que ahora están extintos. Sabemos de su existencia por los fósiles. Los animales y las plantas se clasifican en grupos y subgrupos de acuerdo a sus similitudes. Por ejemplo, dentro del grupo de animales llamados aves, hay familias como la de los herrerillos y, dentro de la familia, diferentes tipos (especies), como el herrerillo azul, el herrerillo grande y el herrerillo de cola larga. Los organismos de la misma especie producen más de los mismos. Las especies diferentes no pueden usualmente entrecruzarse.

Aunque los organismos de una misma especie son muy similares hay pequeñas variaciones entre un individuo y otro. Los seres vivos se encuentran en determinados ambientes porque poseen características que les permiten sobrevivir ahí. Esta adaptación a su ambiente se ha producido debido a las pequeñas diferencias que ocurren durante la reproducción, resultando en que algunos individuos están mejor adaptados al ambiente que otros. En la competencia por materiales y energía, aquellos que están mejor adaptados sobrevivirán y podrán pasar esa característica a su descendencia. Aquellos menos adaptados a un ambiente particular pueden morir antes de reproducirse, de modo que las generaciones posteriores contendrán más características de los individuos mejor adaptados. Ello sólo ocurrirá si los cambios resultan de mutaciones (cambios) en las células reproductivas. Los cambios en otras células no son traspasados.

La selección natural de los organismos con ciertas características que les permite sobrevivir en condiciones ambientales particulares ha estado ocurriendo desde la aparición de la primera forma de vida sobre la tierra, hace aproximadamente 3,5 billones de años. Los organismos unicelulares surgieron temprano en la historia de la vida. Cerca de 2 billones de años atrás, algunas de esas formas vivientes evolucionaron a organismos multicelulares que eventualmente dieron origen a los grandes animales, plantas y hongos de hoy en día. Otros organismos se mantuvieron unicelulares.

Cuando ocurren cambios climáticos, geológicos o en las poblaciones, el beneficio de poseer características heredadas particulares puede ser una ventaja o una desventaja para los organismos. La actividad humana puede originar efectos de gran impacto sobre el ambiente y ello ha resultado en cambios que están dañando a muchos organismos. Como resultado de las actividades humanas, la velocidad de extinción actual es, literalmente, cientos de veces más elevada de lo que sería 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 llevar a una importante degradación de los ecosistemas y la pérdida de la habilidad para responder a cambios en el ambiente.

# 11

## La ciencia supone que para cada efecto hay una o más causas

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, suponiendo que cada efecto tiene una causa o causas y que hay una razón que explica la forma que toman las cosas. Una explicación no es una adivinanza, tiene que existir una razón para sustentarla. Hay distintas maneras de descubrir qué hace que las cosas funcionen y por qué acontecen. La observación cuidadosa, incluidas mediciones, cuando ello sea posible, puede sugerir qué está sucediendo. En otros casos es posible hacer algo para provocar un cambio y observar qué sucede. Cuando esto se hace es importante que, en la medida de lo posible, otros factores se mantengan iguales de manera que el resultado solo se deba al efecto de cambiar un solo factor.

Cualquier afirmación sobre la explicación de un evento o condición en particular debe estar basada en una evidencia que la soporte. Observaciones cuidadosas y sistemáticas, y una descripción precisa de lo que se observa son fundamentales para la investigación científica. Es importante destacar que algunas veces lo que las personas esperan que suceda influye en lo que observan, por ello es una buena práctica el que las observaciones puedan ser hechas por varias personas de manera independiente.

Puede haber diferentes ideas acerca de las razones que explican algo, y por eso se requiere de evidencia para aclarar cual idea realmente “funciona”. Una explicación posible (hipótesis) indica el factor o los factores que se considera que explican un fenómeno. La hipótesis se usa para predecir qué sucederá cuando ese factor se cambia, y entonces se hacen observaciones para ver si la evidencia respecto a lo que sucede sustenta la predicción. Si el resultado concuerda con la predicción, y ningún otro factor produce el mismo resultado, entonces se acepta el factor como la mejor explicación del fenómeno al momento. Frecuentemente, sin embargo, hay algunos otros factores interactuando y el papel de cada uno puede ser incierto.

Cuando los factores no pueden ser manipulados de manera experimental, como en el caso de los movimientos de los planetas en el sistema solar, un fenómeno puede ser investigado mediante la observación sistemática en varias ocasiones y en un periodo de tiempo determinado. La búsqueda de patrones en los datos puede revelar que hay una correlación entre los factores – al cambiar un factor, cambia otro de manera regular. Una correlación puede ser utilizada para proponer un modelo, el cual puede ser utilizado para hacer predicciones, aun cuando existan aspectos que no pueden ser directamente observados o cambiados. Sin embargo, una correlación usualmente no puede ser tomada como evidencia concluyente de que dicho factor es la causa del cambio. 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. Para ello, se requiere un modelo de las relaciones basado en principios científicos.

Fenómenos que han ocurrido en el pasado, como el cambio en las rocas o la evolución de las especies, también pueden someterse al proceso de la prueba de hipótesis. En dichos casos, es la coherencia de todas las hipótesis consistentes con todos los hechos y principios científicos conocidos la que provee la mejor explicación posible.

# 12 **Las explicaciones, las teorías y los modelos científicos son aquellos que mejor dan cuenta de los hechos conocidos en su momento**

Todo el mundo puede hacerse preguntas acerca de las cosas del mundo natural y puede hacer algo para encontrar respuestas que le ayuden a entender que es lo que está sucediendo. La ciencia hace esto a través de un tipo de indagación sistemática que implica coleccionar datos mediante la observación o realizando mediciones de las propiedades de los objetos estudiados o desde otras fuentes. El obtener o no una buena explicación depende de qué datos se recojan y esto usualmente se realiza bajo la guía de alguna teoría o hipótesis acerca de lo que debería estar sucediendo.

Para ayudar en el proceso de explicar las observaciones y de qué es lo que hace que los eventos ocurran, los científicos crean modelos para representar lo que ellos piensan que debe estar ocurriendo. Estos son, algunas veces, modelos físicos, como el modelo del sistema solar, donde varios objetos son utilizados para representar el Sol, la Luna, la Tierra y los otros planetas, o un modelo sobre cómo se piensa que los átomos se ordenan en un compuesto. Otros modelos son teóricos, como cuando se representa la luz como el movimiento de una onda y usualmente se representan como una relación a través de una fórmula matemática. Algunos modelos están firmemente establecidos en teorías que han demostrado funcionar sin contradicción en todos los contextos donde han sido probadas hasta el momento. Otras son más tentativas y es probable que cambien en el futuro. Algunas veces hay más de un modelo posible y la evidencia de lo que funciona mejor no es concluyente; y en otros casos no tenemos aún un modelo explicativo satisfactorio.

Crear un modelo de algún tipo requiere de la habilidad de imaginar la forma en que las cosas pueden estar relacionadas unas con otras así como también utilizar lo que ya se conoce. Los modelos proveen medios para explicar fenómenos en términos de relaciones entre las partes de un sistema. El razonamiento basado en modelos significa ir más allá de lo que podemos observar directamente, mientras que se mantiene el vínculo con la evidencia, al comparar lo que el modelo predice con lo que puede ser observado.

Las teorías y los modelos se someten a prueba al ser utilizados para hacer predicciones acerca de los efectos de ciertos cambios y viendo a continuación si las predicciones son confirmadas por nuevos datos. Una vez que los datos han sido recogidos, necesitan ser interpretados para tratar de explicar lo que se ha encontrado. Las explicaciones no emergen de manera evidente desde los datos sino que se crean en un proceso que frecuentemente involucra intuición, imaginación y una hipótesis informada.

Si los nuevos datos no son consistentes con las ideas hasta entonces aceptadas, entonces las ideas tienen que cambiar. Si bien existe mayor confianza en una teoría o modelo que lleva a predicciones que concuerdan con las observaciones, una explicación o teoría nunca puede ser probada "correcta" porque siempre existe la posibilidad de encontrar datos adicionales en conflicto con ella. Por ello, algunas ideas científicas utilizadas hoy en día para explicar lo que ocurre a nuestro alrededor son diferentes de aquellas aceptadas en el pasado y algunas pueden ser diferentes en el futuro.

# 13

## El conocimiento generado por la ciencia es usado en algunas tecnologías para crear productos que sirven a propósitos humanos

La tecnología ayuda a proveer a las personas cosas que necesitan o que pueden utilizar, como alimento, herramientas, ropa y un lugar para vivir. La fabricación de estas cosas implica seleccionar los materiales que tengan las mejores propiedades para un determinado uso. Los materiales que provienen de las plantas y los animales o de la superficie de la Tierra han sido utilizados por miles de años, mientras que los materiales manufacturados, como los plásticos, solo fueron producidos a partir del inicio de los comienzos del siglo XX. Esos materiales artificiales se pueden elaborar de manera que tengan ciertas propiedades particulares, generando nuevos productos.

La aplicación de la ciencia en la fabricación de nuevos materiales es un ejemplo de cómo el conocimiento científico ha ayudado al avance de la tecnología. La aplicación de la ciencia en la elaboración de nuevas máquinas y herramientas ha hecho también posible la producción masiva, de forma que más gente tenga acceso a una mayor gama de comodidades. Al mismo tiempo, los avances tecnológicos han contribuido al desarrollo científico al mejorar los instrumentos para la observación y la medición, automatizando procesos que de otra manera serían muy peligrosos o que tomarían mucho tiempo, particularmente a través del suministro de computadoras. Así, el uso de la tecnología ayuda al avance científico que a su vez puede utilizarse para diseñar y hacer cosas para el uso de las personas. En algunos casos, los productos tecnológicos se han adelantado a las ideas científicas, mientras que en otros casos, la comprensión científica vino primero.

En algunos productos tecnológicos hay ventajas y desventajas. Aunque el uso de algunos materiales artificiales puede significar menos demanda sobre productos naturales escasos, muchos nuevos materiales no se degradan como lo hacen los materiales naturales. Dichos materiales presentan problemas para su eliminación cuando son desechados. Del mismo modo, algunos aparatos tecnológicos como los teléfonos móviles y las computadoras usan metales que existen en la Tierra sólo en pequeñas cantidades y pronto podrían agotarse. Estos ejemplos reflejan un problema mayor, esto es, la necesidad de reciclar materiales para conservar las fuentes y reducir la contaminación. Cuando hay efectos adversos en el ambiente que afectan la vida de las personas, científicos y tecnólogos necesitan colaborar para entender los problemas y encontrar las soluciones.

# 14

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

La comprensión que resulta de la ciencia nos permite explicar cómo funcionan algunas cosas en el mundo natural. Esta comprensión puede, con frecuencia, aplicarse para cambiar o hacer cosas que ayuden a resolver los problemas humanos. Dichas soluciones tecnológicas han mejorado la vida y la salud de mucha gente en países alrededor del mundo en las dos décadas pasadas. Agua limpia, alimentos adecuados y suficientes y mejores medicinas han incrementado las expectativas de vida. Al mismo tiempo, el crecimiento poblacional resultante ha incrementado la demanda sobre los recursos y sobre el espacio en la superficie de la tierra para incrementar la producción de alimentos, la construcción de vivienda y el depósito de desechos. Ello frecuentemente ha sido perjudicial para la vida de los habitantes de los países en desarrollo y ha ocasionado la destrucción en los hábitats de otros seres vivos, provocando la extinción de algunos de ellos.

Hay muchos ejemplos sobre cómo los avances tecnológicos tienen consecuencias no intencionales. El mejoramiento del transporte en comodidad y velocidad, particularmente el aéreo, quema combustibles que producen dióxido de carbono, uno de los varios gases de la atmósfera que provocan el calentamiento de la tierra a través del efecto invernadero. El aumento de dichos gases en la atmósfera incrementa la temperatura de la Tierra. Incluso un pequeño incremento en la temperatura de la Tierra puede tener efectos muy vastos a través de los cambios en el hielo polar, el nivel de los mares y los patrones del tiempo atmosférico. En todos estos casos, si los efectos negativos fueran conocidos, el costo-beneficio entre las ventajas y desventajas de la aplicación de la ciencia necesita ser cuidadosamente considerado.

La ciencia puede ayudar a entender las implicancias de ciertas aplicaciones, pero las decisiones acerca de si ciertas tecnologías deberían ser puestas en marcha requiere de juicios éticos y morales que no son provistos por la ciencia. También debe considerarse el uso de recursos escasos. Todas las innovaciones consumen recursos de algún tipo, incluyendo los financieros, de modo que las decisiones deben tomarse cuando hay demandas en competencia. Esas decisiones, tanto a nivel gubernamental, local o individual, deben ser informadas mediante la comprensión de los conceptos científicos y los principios tecnológicos involucrados.

## Sección Cuatro

# Trabajando con las grandes ideas en mente

La pregunta que abordamos en esta sección se refiere a cómo el aprendizaje debe guiarse hacia el desarrollo de las grandes ideas de una manera consistente con los principios que sustentan la educación esencial en ciencias. Una respuesta completa a esta pregunta necesitaría considerar el currículum, la pedagogía, el conocimiento y rol del profesor, el rol de los estudiantes y el rol de los recursos de aprendizaje (incluyendo los materiales, los fenómenos naturales y la gente). Nuestro foco aquí es la pedagogía, por ello, sólo tratemos brevemente los otros factores.

El rol del currículo escrito es establecer las metas de aprendizaje y los principios que deben guiar su implementación. El tener en mente el propósito general de ayudar a todos los estudiantes a desarrollar las grandes ideas tiene implicaciones sobre la forma en que se presentan las metas del aprendizaje. Las ideas deberían ser expresadas en términos que todo el mundo pueda entender – no sólo los maestros, los investigadores educativos y los científicos, sino también los padres de familia y otros involucrados con la educación de los estudiantes. Descripciones, como las presentadas en la Sección 3, quizá con un mayor detalle y explicación, proveen de una manera útil para comunicar que la meta última es la comprensión de las relaciones, no una serie de hechos, o una colección de “pequeñas ideas”. El documento del currículo debería también establecer el progreso hacia las grandes ideas de manera que deje claro que el proceso de ampliar la comprensión es permanente y continuo. El propósito debería ser hacer posible que los profesores, padres de familia y otros puedan relacionar las actividades de los estudiantes a algún punto en la progresión hacia las grandes ideas, y así dejar claro el propósito de las actividades.

Un currículo basado en las grandes ideas bien puede tener una relevancia universal debido a que la ciencia es universal. Pero las circunstancias culturales y económicas determinarán como este currículo puede ser implementado en los diferentes países. Tal como dijimos en el Principio 5, no es el papel del currículo establecer como las metas del aprendizaje deben ser alcanzadas. La implementación de dicho currículo es el papel de la pedagogía.

## Pedagogía

*Ninguna actividad debería estar libre de contenido científico aún cuando parezca emplear habilidades utilizadas en la ciencia*

La pedagogía en su sentido más amplio, significa no solamente el acto de enseñar sino también las teorías, valores y justificaciones que la fundamentan, y las habilidades y creatividad que se requieren para brindar actividades de aprendizaje efectivas e involucrar a los estudiantes en ellas.

En la toma de decisiones acerca de dichos aspectos de la pedagogía nuestros Principios son un punto clave de referencia. El primer Principio requiere que se considere como un propósito general de la educación en ciencias, el desarrollo de respuestas afectivas frente a la investigación del mundo natural. Esto es reforzado por el Principio 7 el cual, sin negar que el aprendizaje de la ciencia deba ser “entretenido” y estimular el asombro acerca del mundo natural, afirma que este no debería ser el único propósito de las actividades realizadas por los estudiantes; éstas deben también avanzar su comprensión. Ninguna actividad debería estar libre de contenido científico aun cuando parezca emplear habilidades utilizadas en la ciencia. Esto es también subrayado en el Principio 2, el cual afirma la importancia que todos los estudiantes adquieran las capacidades implícitas en el término “alfabetización científica”. Ello sólo es posible si los estudiantes se involucran en actividades con contenidos que los lleven a la comprensión científica.

Los Principios 3 y 8 están particularmente enfocados al logro de una serie de metas, que incluyen habilidades y actitudes de los estudiantes, así también como grandes ideas. La importancia de las habilidades para el desarrollo de las ideas viene de la discusión inicial (p.44) sobre cómo los estudiantes intentan darle sentido a las nuevas experiencias, a través de la aplicación y puesta a prueba de las ideas existentes, tal como lo hacen los científicos. La utilidad de una idea es sometida a prueba haciendo una predicción y recabando luego nuevas evidencias para ver si éstas satisfacen la predicción. El resultado puede ser que la idea explica la nueva experiencia y así se vuelve más “grande” porque abarca más fenómenos, o la idea puede ser rechazada porque no satisface la nueva evidencia y una idea alternativa deberá ser encontrada. Lo que surge, de este proceso, sin embargo, depende de cómo se realiza la predicción, la observación, la obtención e interpretación de datos; en otras palabras, de la forma en la cual se han utilizado las habilidades de indagación científica. Estas habilidades de indagación tienen un papel clave en el desarrollo de las ideas de los estudiantes y el ayudar a los estudiantes a utilizar estas habilidades es una importante meta de la educación en ciencias. La pedagogía que soporta el desarrollo de las grandes ideas, debe, por lo tanto, también promover el desarrollo de las habilidades de indagación.

*La pedagogía que apoya el desarrollo de las grandes ideas debe también promover el desarrollo de las habilidades indagatorias*

Los Principios 4 y 5 requieren que las actividades sean tales que los estudiantes las puedan vincular con sus experiencias de todos los días y sus

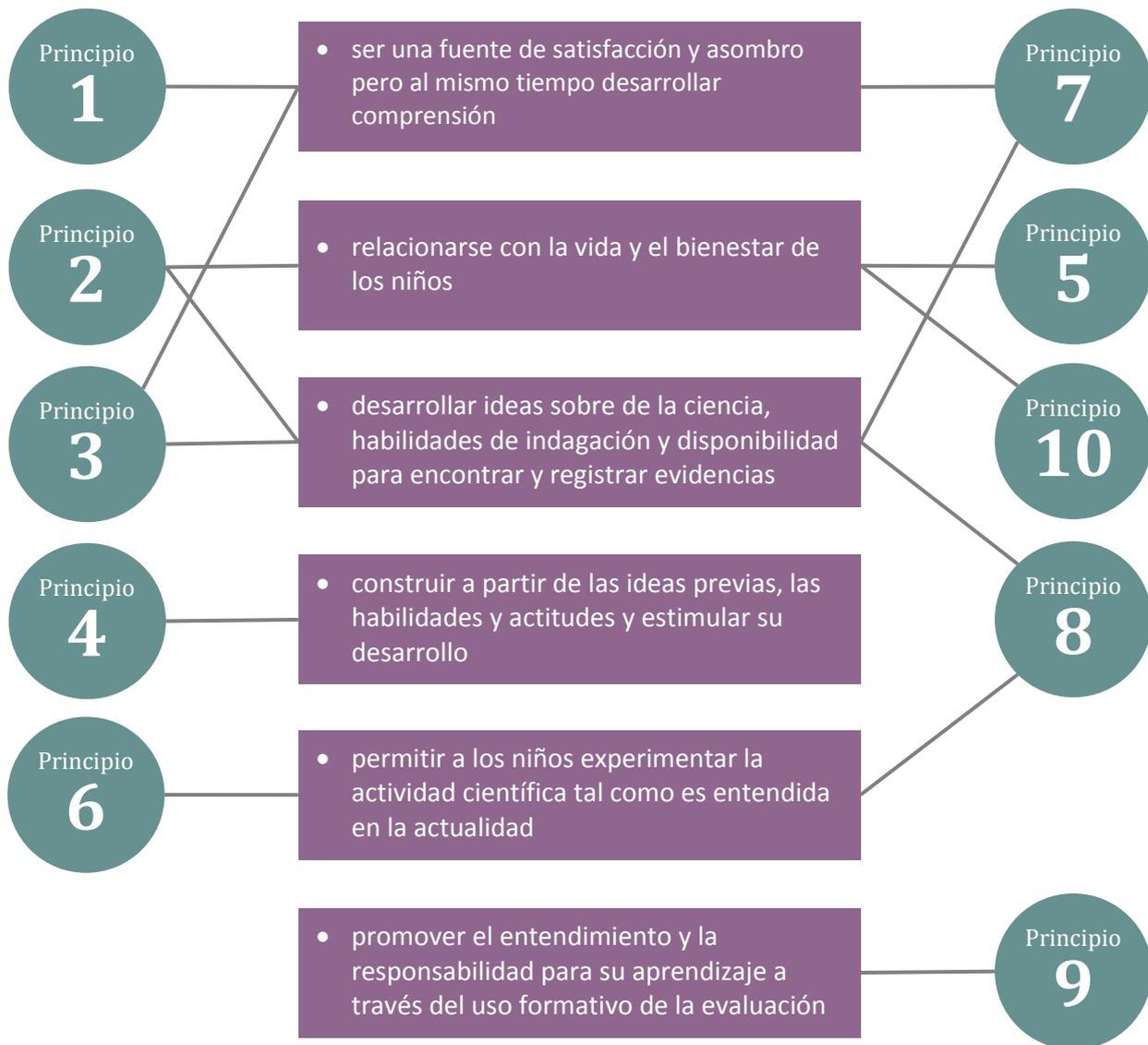
aprendizajes previos, mientras que el Principio 6 requiere que los profesores involucren a los estudiantes en el desarrollo de sus ideas emergentes a través de una variedad de actividades científicas que reflejen el rango utilizado por los científicos. El Principio 9 establece el papel de la evaluación como parte de una enseñanza que ayuda a regular la cantidad de desafíos que las actividades deben proveer e involucra a los estudiantes en decisiones acerca de cómo progresar en sus aprendizajes. Ello requiere que tanto los profesores como los estudiantes tengan claridad sobre las metas y que los profesores sepan hasta donde los estudiantes han llegado en el desarrollo de sus ideas y habilidades. El Principio 10 se refiere al papel de los recursos, incluyendo el humano y el beneficio mutuo que conlleva la colaboración para las escuelas y sus comunidades.

La aplicación de estos principios en la selección de las actividades de los estudiantes tiene implicancias tanto para el contenido como para la pedagogía. En relación al contenido, el dedicar tiempo al aprendizaje de la ciencia indagando ciertos fenómenos o eventos particulares debe estar justificado en términos su aporte a la comprensión de las grandes ideas. Tal vez este no sea un requerimiento particularmente exigente debido a que las ideas que hemos identificado pueden interpretarse con amplitud. Sin embargo, el ejercicio de clarificar la contribución a este desarrollo es útil, si así se evita caer en la trampa de repetir las actividades año tras año a manera de hábito, o porque siempre “funcionan”.

Pero el que exista o no aprendizaje relacionado a las grandes ideas depende también de la pedagogía – cómo los estudiantes son apoyados para involucrarse con, pensar acerca de y vincular la materia de estudio con otras experiencias. Incluso el contenido potencialmente relevante y motivante puede fracasar en promover la comprensión, si las actividades se reducen a seguir instrucciones y aprender las respuestas de memoria. Dichas actividades no permiten alcanzar las metas del Principio 3.

*Aplicando los principios a las actividades de los estudiantes en la educación en ciencias*

**Las actividades deben ...**



## Aspectos de una pedagogía efectiva para la ciencia

La pedagogía que es consistente con los Principios incluye las características hoy ampliamente aceptadas como centrales para una práctica efectiva: indagación, constructivismo individual y social y el uso de la evaluación formativa. Todos estos son aspectos diferentes pero complementarios de la pedagogía.

**La indagación** significa que los estudiantes estén desarrollando su comprensión a través de su propia investigación, que estén reuniendo y usando datos para someter a prueba sus ideas y encontrar las ideas que mejor expliquen lo que se ha observado. La fuente de los datos puede ser la manipulación directa de materiales, la observación de fenómenos o el uso de fuentes secundarias incluyendo libros, el internet y las personas. La interpretación de los datos para proveer evidencias al momento de probar las ideas puede implicar el debate con otros estudiantes y el profesor e investigar qué es lo que los expertos ya han concluido al respecto. Implícito en todo esto está el que los estudiantes están tomando parte en actividades muy similares a aquellas que realizan los científicos para desarrollar comprensión. Al hacer estas actividades de manera consciente, los estudiantes desarrollan sus ideas *acerca* de la ciencia.

El **constructivismo** se refiere a la revelación consciente de las ideas, habilidades y actitudes previas de los estudiantes en relación a un evento o fenómeno a ser estudiado y a hacer uso de esta información para ayudar a desarrollar el aprendizaje. Esto reconoce que los estudiantes son agentes en el desarrollo o cambio de sus ideas y en la práctica significa también la necesidad de ayudarlos a considerar ideas alternativas que pueden ser más útiles que las suyas para explicar el mundo a su alrededor. Una importante fuente de ideas alternativas es la discusión de las ideas de otros; en lugar a que los estudiantes desarrollen sus ideas individualmente (constructivismo individual) es más fructífero motivar la discusión y argumentación a través de la cual las ideas se desarrollan socialmente. El proceso de comunicar y defender las ideas, ayuda a los estudiantes a reformular sus propias ideas tomando en cuenta las ideas de los demás.

El **uso formativo de la evaluación** es un proceso cíclico y continuo mediante el cual información acerca de las ideas y habilidades de los estudiantes informa la enseñanza en curso y facilita el activo involucramiento en el aprendizaje. Ello implica recoger evidencia sobre el aprendizaje que está teniendo lugar, la interpretación de esa evidencia en términos del progreso hacia las metas del trabajo, la identificación de los pasos siguientes y las decisiones acerca como llevarlos a cabo. Tiene un rol en la regulación de los procesos de enseñanza y aprendizaje para asegurar la progresión en el aprendizaje con comprensión, al proporcionar

*La pedagogía consistente con los Principios incluye características que actualmente se reconocen como centrales para la práctica efectiva: indagación, constructivismo individual y social y evaluación formativa*

retroalimentación tanto al profesor como al estudiante. También es central para permitir a los estudiantes apropiarse de su aprendizaje, una de las características claves de la genuina comprensión. La apropiación requiere que los estudiantes conozcan las metas de trabajo y los criterios de calidad a ser aplicados para que sean capaces de evaluar por ellos mismos, donde están en relación con las metas. Esto los pone en una posición de identificar, con sus maestros, los siguientes pasos en su aprendizaje y asumir responsabilidad respecto al progreso hacia las metas.

De esta manera, estos tres aspectos de la pedagogía se traslapan y hacen diferentes contribuciones al aprendizaje de los estudiantes. La indagación aborda el desarrollo del entendimiento a través de recabar y utilizar las evidencias. Pero aunque las ideas desarrolladas a través de la indagación pueden empezar desde las ideas pre-existentes de los estudiantes, la indagación no necesariamente requiere de esto. Ni tampoco exige la autoevaluación del estudiante o la evaluación por pares. El constructivismo, por otra parte, enfatiza que el desarrollo empieza a partir de las ideas y habilidades que los estudiantes traen de sus experiencias previas y el papel de la evidencia y discusión con otros en la creación de ideas más científicas, pero dice muy poco acerca de la obtención de las evidencias, la naturaleza de la progresión o el papel de la autoevaluación de los alumnos. La evaluación formativa añade la importancia de regular la enseñanza para mantener el ritmo con el entendimiento de los aprendices. Ello tiene como centro el involucramiento de los estudiantes en su propio aprendizaje, dándoles la información y habilidades que necesitan para evaluar su progreso en relación con sus metas y asumir responsabilidad ante su propio aprendizaje.

### **Enseñando con las grandes ideas en mente**

Sin embargo, hay algo que falta aún – la referencia explícita al desarrollo de las grandes ideas. La pregunta que debe contestarse es ¿Qué diferencias en la pedagogía estarían asociadas al trabajar con las grandes ideas en mente?

Supongamos que se tiene una pedagogía que provee de oportunidades para la indagación, que está basada en el constructivismo y que incorpora estrategias formativas para la evaluación ¿Qué diferencia habría si las metas generales del aprendizaje de la ciencia se identificaran en términos de desarrollo hacia las grandes ideas?

Un primer paso sería que el profesor estuviese consciente del vínculo entre las metas de una lección o una serie de lecciones y el desarrollo de una gran idea. Sin embargo, las ideas “pequeñas” son las ideas que pueden ser desarrolladas en lecciones de un tópico, una posibilidad es verlas como pasos (verticales, horizontales o en espiral – ver la Sección 3) hacia la gran idea. Por ejemplo, plantar semillas y piedras en el suelo para ver si crecen,

refuerza el pensamiento de los estudiantes acerca de las diferencias entre las cosas vivas y no vivas, eventualmente guiándolos para que algunos años después, lleguen a reconocer la estructura celular única a los organismos vivientes.

Es más fácil ver los vínculos entre las metas de actividades en particular y las grandes ideas en los programas de los estudiantes de mayor edad porque las ideas desarrolladas en las actividades es probable que sean también más grandes. Para los niños pequeños puede ser difícil juzgar alguna actividad como no pertinente a las grandes ideas de la ciencia porque lo que se intenta es una interpretación amplia. Sin embargo, el tiempo dedicado a las diferentes actividades debe reflejar su importancia en el desarrollo de la comprensión global. Así tener las grandes ideas de la ciencia en mente quiere decir que:

- Los profesores estarán dedicando más tiempo para que los estudiantes puedan estudiar con profundidad ciertos objetos, eventos o fenómenos, apropiados a su edad y nivel de desarrollo. Esos tópicos de estudio serán seleccionados de modo que tengan para el profesor o algún otro observador, una clara relación con una o más de las grandes ideas. Esto permitirá la comprensión en un punto adecuado en la progresión a las grandes ideas. Así el profesor será capaz de explicar cómo las ideas que los niños se desarrollan a través de las actividades en que están involucrados se relacionan a las grandes ideas y así justificar el tiempo que están dedicando a dichas actividades.

Pero sólo porque en teoría exista un vínculo, no significa que las actividades están contribuyendo efectivamente a la comprensión general resumida en la gran idea. Dicha contribución depende de cómo el profesor ayuda a sus estudiantes a hacer vínculos que creen ideas más grandes y abstractas. La progresión en el desarrollo de las ideas hacia una mayor abstracción es una de las áreas de mayor dificultad en la enseñanza de la ciencia. La ciencia empieza con observaciones de nuestro alrededor – una piedra, la Luna, una planta- y procede a través de la generalización progresiva de la experiencia a categorías o ideas más abstractas- fuerza, gravitación, átomo. En esos niveles de abstracción el sentido común ya no es útil y las fórmulas matemáticas u otro tipo de símbolos son necesarios. Los profesores deben estar conscientes de los niveles sucesivos de abstracción y asegurarse de que los estudiantes son capaces de dar esos pasos reconociendo las ideas más abstractas profundizan el entendimiento de las observaciones cotidianas. Así:

- Los profesores estarán haciendo que sus estudiantes estén conscientes de cómo las ideas que están emergiendo de su sala de clases se relacionan con las cosas de su vida diaria. Ayudarán a sus estudiantes a reconocer vínculos entre las experiencias nuevas y las previas; entre las

*Los profesores permitirán a los estudiantes estudiar en profundidad ciertos objetos, eventos, o fenómenos seleccionados, de manera que tengan una clara relación con una o más grandes ideas*

*Sólo porque existe una relación teórica, no significa que las actividades contribuyan efectivamente a la comprensión general resumida en una idea grande*

ideas previas y las nuevas. El reconocimiento de esos vínculos hace de la enseñanza de la ciencia una experiencia muy interesante.

- Los profesores estarán conscientemente guiando la comprensión de los estudiantes hacia las grandes ideas, asegurando así que ellos lleguen a una visión del mundo que no sea una colección de afirmaciones independientes, sino partes que están conectadas unas con otras. Si no hacen las conexiones y se dan cuenta de la coherencia de las ideas, la ciencia se fragmenta. Así como una casa no es un montón de ladrillos, la ciencia no es un montón de hechos desconectados.
- A través de las discusiones de las investigaciones científicas actuales los estudiantes toman conciencia de la universalidad de las ideas científicas y su aplicación para entender fenómenos tanto de gran escala como de escalas muy pequeñas.

Al mismo tiempo que desarrollan las grandes ideas de la ciencia, los estudiantes deberán estar desarrollando ideas acerca de la ciencia. Algo clave para que ello ocurra es el darse cuenta de manera consciente de la importancia que tiene la evidencia como apoyo al desarrollo de las ideas de la ciencia de los estudiantes, llevándolos más tarde a reconocer la evidencia que sirve de base de las grandes ideas. Así:

- La manera en la cual los profesores se relacionan con los estudiantes los motivará a reconocer que necesitan evidencias para apoyar sus afirmaciones e ideas. Los estudiantes serán apoyados para reconocer que los hechos no son objeto de opinión y que pueden cambiarse o ser refinadas a la luz de nuevas evidencias.
- Los profesores apoyarán a los estudiantes a decidir cómo recabar e interpretar datos y utilizarlos como evidencia para responder a sus preguntas. La conciencia de los estudiantes sobre esos procesos se incrementará a través de la discusión de sus propias investigaciones y también con las de otros, así como a partir de ejemplos sobre cómo los científicos someten a prueba sus ideas.
- La discusión de eventos en la historia de la ciencia será utilizada para demostrar cómo la evidencia ha sido o no usada en el pasado para desarrollar las ideas y cómo los desarrollos tecnológicos han hecho avanzar a la ciencia y viceversa.

### **Las grandes ideas y la comprensión de la ciencia por parte de profesores y profesoras**

Los profesores de educación primaria enfrentan desafíos particulares en relación con las grandes ideas en la ciencia. Primero, las actividades de los niños pequeños están generalmente enfocadas a explorar su medio ambiente local y las cosas vivas o no vivas que existen en él. Sus

investigaciones y observaciones los conducen a pequeñas ideas cuya conexión a las grandes ideas de la ciencia puede parecer muy tenue. Pero en muchos casos la propia educación científica de los profesores les ha dejado sin una comprensión personal de las grandes ideas y con escasa oportunidad para entender cómo las piezas de información que tienen pueden ser unidas entre sí. Por lo tanto, es posible que los profesores estén insuficientemente preparados para reconocer los vínculos entre las ideas desarrolladas en las actividades de aula y las ideas de aplicación más amplia y que por ello no estén en posición para apoyar a sus niños a progresar hacia esas ideas. Una dificultad adicional es la falta de confianza para enseñar ciencias como resultado de una limitada experiencia personal y comprensión de la actividad científica.

En la escuela secundaria los vínculos entre las actividades de aprendizaje y las grandes ideas tienden a ser más obvios. Pero los profesores de secundaria también pueden tener un conocimiento limitado en ciertos dominios de la ciencia – estar entrenado en biología, por ejemplo, pero no en ciencias físicas – y carecer de experiencias de primera mano sobre la actividad científica lo que les daría la confianza suficiente para enseñar las ideas sobre la ciencia.

Para todos los profesores, lo ideal sería contar con una comprensión personal de las grandes ideas *de* la ciencia y *acerca de* la ciencia. En el caso que carezcan de esta formación como resultado de su propia educación científica, ¿cuál es la posibilidad de que puedan adquirirlo durante la formación inicial docente o el desarrollo profesional continuo? Por cierto que no toda la educación en ciencias puede condensarse en los limitados tiempos disponibles en los cursos que se imparten antes o durante el ejercicio profesional. Sin embargo, los profesores son adultos inteligentes y poseen experiencias relevantes y un conocimiento mayor de lo que a veces piensan. Como adultos – y debe enfatizarse que este no es un enfoque apropiado para los estudiantes en las escuelas – el relacionarse con las grandes ideas en forma descriptiva puede ayudarles a dar sentido a su experiencia. Ello puede permitirles reunir fragmentos de conocimiento previo y, en efecto, puede generar satisfacción al dar sentido a cosas que previamente parecían más allá de su comprensión.

La “participación” que es deseable es mucho más que leer y discutir las descripciones narrativas de las grandes ideas. Debería ser una forma de indagación mediante la cual los profesores, en su calidad también de aprendices, obtengan evidencias sobre sus propias experiencias y las de otros, que dan sentido a una “historia” que evoluciona. La co-construcción social de sus ideas posiblemente no llevará por sí misma a una profunda comprensión de las grandes ideas pero, se esperaría que ello fuera el inicio de un proceso permanente de profundización del conocimiento que permita a los maestros apoyar el progreso de los estudiantes.

*Mayor comprensión sobre la ciencia y sobre cómo enseñar un concepto particular puede obtenerse del contacto directo con profesores más experimentados, con científicos, a través de vínculos con estudiantes universitarios y desde el internet*

Esta experiencia debe acompañarse con la participación de los profesores en el aprendizaje de la ciencia a través de la indagación a su propio nivel para desarrollar una mayor comprensión de la indagación científica a través de su participación en ella. Ello requiere que se invierta tiempo en otorgar a los profesores oportunidad de preguntar e investigar fenómenos simples en su vida diaria (como el por qué las toallas de papel están elaboradas de varias capas; por qué flota el hielo; por qué el exterior de un recipiente con bebida se humedece cuando se saca del refrigerador). En esas actividades no se les pide a los maestros desempeñarse en su rol de docentes sino volverse investigadores genuinos de esos fenómenos comunes. La reflexión sobre lo que ellos entienden inicialmente, más lo que ellos descubren, puede guiarlos a mayor comprensión sobre cómo funciona la ciencia.

Tan importante como brindar experiencias de primera mano a los profesores durante los cursos es el proveer de un apoyo continuo para desarrollar comprensión de la ciencia y de una pedagogía efectiva en la forma que pueda ser accesible a través de su vida diaria. La comprensión personal de la ciencia y el cómo enseñar conceptos específicos puede darse, por ejemplo, a través del contacto directo con profesores y científicos más experimentados, a través de vínculos con estudiantes universitarios de ciencias que trabajen con grupos de estudiantes en el aula o los laboratorios o a través del internet. Para optimizar este apoyo, todos los involucrados deberían estar preparados para desempeñar su papel teniendo las grandes ideas en mente y compartir el propósito de desarrollar en los estudiantes el entendimiento progresivo de las mismas.

### **En conclusión**

En este trabajo hemos establecido los principios que consideramos deben sustentar la educación en ciencias de todos los estudiantes a lo largo de su educación escolar. Un principio clave es que los estudiantes deben ser apoyados en el desarrollo de las grandes ideas *de* la ciencia y *acerca* de la ciencia que les permitan entender los aspectos científicos del mundo a su alrededor y tomar decisiones informadas acerca de las aplicaciones de la ciencia. Para lograr dicho entendimiento los estudiantes necesitan experiencias de aprendizaje que sean interesantes, motivantes y aparezcan como relevantes para su vida. Hemos considerado la progresión desde las pequeñas ideas acerca de fenómenos, objetos y eventos específicos, a las ideas más abstractas y ampliamente aplicables y hemos propuesto los aspectos significativos de la pedagogía que se requiere como apoyo a dicha progresión.

Estamos conscientes de que este trabajo está lejos de ser definitivo, pero esperamos que poniendo a disposición lo que hemos logrado estimulará una mayor reflexión acerca de las metas y procedimientos de la educación en ciencias que se adecúa a los propósitos de la educación en el siglo XXI.

## Participantes del Seminario



*De izquierda a derecha: Rosa Devés, Pierre Léna, Wynne Harlen, Hubert Dyasi, Derek Bell, Patricia Rowell, Robin Millar, Wei Yu, Michael Reiss, Guillermo Fernández de la Garza*

### Derek Bell

El Profesor Derek Bell es Director de Educación del Wellcome Trust. Se ha desempeñado en varios cargos en escuelas y *colleges* en Inglaterra y fue durante seis años y medio Director Ejecutivo de la Association for Science Education (ASE). Fue nombrado Profesor por el College of Teachers en Julio de 2007. A lo largo de su carrera, ha mantenido un activo interés por el mejoramiento de la enseñanza y el aprendizaje en ciencias, explorando la manera de ayudar a los niños a desarrollar su comprensión del mundo que los rodea. Fue miembro del equipo del proyecto SPACE (Science Processes and Concept Exploration) en la década de 1980 y coordinador del Nuffield Primary Science Project que se desarrolló a partir de la investigación SPACE. Su interés en la investigación incluye la comprensión de la ciencia por parte de los niños, en particular de los niños con problemas de aprendizaje. Su investigación en liderazgo asociado al currículum y el papel de los coordinadores de ciencia en las escuelas primarias se resume en *Towards effective subject leadership in the primary school*, que fue publicado por primera vez en 1999 por la Open University Press.

Derek ha realizado un amplio rango de asesorías en el Reino Unido y el extranjero y ha sido miembro de varios paneles de consejeros expertos incluyendo el STEM High Level Strategy Group, National Coordinators Group for the National Network of Science Learning Centres, el WISE National Coordinating Committee y el Astra-Zeneca Science Education Forum. Actualmente es miembro del directorio del Engineering Technology Board (ETB) y STEMNET. Está interesado en incrementar la relación entre la ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas a través de nuevas colaboraciones y de las ya existentes en el sector educativo, industrial y de negocios.

### Rosa Devés

La Profesora Rosa Devés es Prorectora de la Universidad de Chile en Santiago y desde 2003 es miembro correspondiente de la Academia Chilena de Ciencias. Se graduó en Bioquímica en 1974 en la Universidad de Chile y obtuvo el PhD en Bioquímica de la Universidad de Western Ontario, Canadá. En 1980 ingresó al Departamento de Fisiología y Biofísica de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile. Ha trabajado activamente en investigación en el área de transporte a través de membranas, en la enseñanza de fisiología celular y físico-química a nivel de pre y posgrado y el desarrollo de la educación de posgrado incluyendo la implementación de Programa de Doctorado en Ciencias Biomédicas, de la Universidad de Chile, el cual dirigió durante dos períodos de cinco años; también ha sido Directora de Estudios de Posgrado de la Universidad.

En el año 2000 fue llamada por la Unidad del Currículo y Evaluación del Ministerio de Educación para actuar como coordinadora de los equipos de ciencia que desarrollaron el nuevo currículo. Esto inició su participación en educación a nivel escolar, mientras continuaba de tiempo completo en la universidad. En el 2002, conoció el programa de educación en ciencias basado en la indagación que estaba siendo promovido por el National Sciences Research Center de los Estados Unidos y colaboró con Jorge Allende en el establecimiento del Programa de Educación en Ciencia Basado en Indagación (ECBI) en Chile, el cual inició en seis escuelas públicas con 1000 niños. Desde entonces, el programa se expandió llegando a abarcar 250 escuelas en todas las regiones del país, con la colaboración de doce universidades chilenas, el Ministerio de Educación y la Academia de Ciencias con el propósito de brindar educación científica de alta calidad para todos los niños.

### Hubert Dyasi

El Profesor Hubert Dyasi es reconocido internacionalmente como profesor de educación en ciencias, especializado en el desarrollo profesional de los profesores de ciencia. Obtuvo su Ph.D. en Educación en Ciencias en la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign. Ha impartido cursos de educación en ciencias a nivel de pre y posgrado y supervisado a estudiantes de profesores basados en la escuela nacional e internacionalmente. Durante 1966-1970, como académico del Njala University College de la Universidad de Sierra Leona (África Occidental), fue Director Ejecutivo del African Primary Science Program y el Science Education Programme para África 1970-1983, cubriendo casi todo África del subSahara.

Desde 1984 a 2004 dirigió el City College Workshop Centre en Nueva York, convirtiéndolo en una organización muy respetada nacional e internacionalmente por su contribución al desarrollo de la educación en ciencias y la educación general. Además de dirigir programas de educación en ciencias para los distritos escolares de la ciudad de Nueva York, ha colaborado con el Departamento de Educación del Estado de Nueva York y nacionalmente con escuelas y distritos escolares para desarrollar sus programas de educación en ciencias y para implementar educación indagatoria en ciencias en el salón de clases. Es miembro de numerosos consejos directivos y consultor de enseñanza y aprendizaje en ciencias y ha participado en varios paneles así como equipos de visita de la National Science Foundation.

Entre sus logros académicos se encuentran: Visitante académico al All Souls College de la Universidad de Oxford; del Instituto de Tecnología de California; Fellow del National Institute of Science Education; miembro del National Research Council's Committee on Science Education y miembro del National Research Council's Committee on Science Education K-12. En 2005 recibió el premio Exploratorium's Outstanding Educator Award, y el National Science Teachers Association's Distinguished Service to Science Education Award en 2008. Su trabajo académico incluye contribuciones a capítulos y coautoría de varios libros incluyendo *Linking Science & Literacy in the K-8 Classroom*, (2006), *America's Lab Report* (2005), *Teaching Science in the 21<sup>st</sup> Century* (2005),

*Designing Professional Development for Teachers of Science and Mathematics* (2003), *The National Science Education Standards* (1996), *Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning* (2000).

### **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 no lucrativa auspiciada por los gobiernos de México y de Estados Unidos. En FUMEC ha trabajado para desarrollar agrupaciones de innovación regional binacional en áreas como la aeroespacial, ITC y manufacturas avanzadas, además de facilitar la innovación en empresas pequeñas y medianas. Tiene licenciatura en Ingeniería y licenciatura en Física por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el grado de Maestría en Ingeniería Económica de la Universidad de Stanford y estudios avanzados en Ingeniería Nuclear y Administración de Negocios en el Instituto Politécnico Nacional (IPN) y en IPADE. Ha trabajado en programas de innovación en la industria, universidades y en el gobierno.

Guillermo ha hecho contribuciones notables a la popularización de la ciencia y a la educación en ciencias. Fue miembro fundador de la Sociedad Mexicana para la Popularización de la Ciencia y la Tecnología (SOMEDICYT) y con un equipo de científicos, educadores y líderes de negocios fundaron CHISPA, una revista de ciencia para niños que se publicó mensualmente en México de 1978 a 1998. CHISPA ganó premios en México y a nivel internacional. Libros con selecciones de artículos de la revista aun se distribuyen por la Secretaría de Educación Pública de México. Las Reuniones de niños y científicos que CHISPA organizó evolucionaron para convertirse en “Sábados y Domingos en la Ciencia”, programa que es operado por la Academia Mexicana de Ciencias.

Guillermo organizó junto con la Secretaría de Educación Pública y la Academia Mexicana de Ciencias las actividades de prueba iniciales en México del currículo Ciencia y Tecnología para Niños del Centro Nacional de Recursos Científicos. En el 2002, con el apoyo de FUMEC, inició las actividades Innovación en la Enseñanza de la Ciencia, INNOVEC, organización sin fines de lucro que ha sido instrumental en la aplicación de los Sistemas de Enseñanza de la Ciencia basados en la indagación en escuelas públicas de México. Actualmente INNOVEC tiene convenios con la Secretaría de Educación Pública y 10 gobiernos estatales para brindar este tipo de educación a más de 300,000 niños, organizando conferencias internacionales, reuniones, talleres, programas de entrenamiento para profesores, asesores pedagógicos, y autoridades de educación. Guillermo fue galardonado en el 2008 con el Premio PURkwa otorgado por la Academia de Ciencias de Francia y la Escuela Saint Etienne Mining por sus prácticas innovadoras en la educación en ciencias.

### **Wynne Harlen**

La Profesora Wynne Harlen ha desempeñado varios cargos como profesora, educadora de profesores, e investigadora en educación de la ciencia y evaluación desde que se graduó en Física en Oxford. En 1985 fue designada Sydney Jones Professor of Education en la University of Liverpool, al inicio de sus cinco años más activos en ciencia en primaria. Fue miembro del Grupo de Trabajo de la Secretaría de Estado en Ciencia, el cual produjo la primera versión del Currículo Nacional de Inglaterra. Ella negoció un gran proyecto del Gatsby Trust para establecer en Liverpool un Centro para la Investigación y el Desarrollo en Ciencia Primaria, el cual continúa funcionando. Ella lideró varios proyectos de investigación, desarrollo profesional y desarrollo curricular, incluyendo el proyecto Liverpool – King SPACE (Science Processes and Concept Exploration), en codirección con Paul Black, resultante en el reporte de investigación SPACE y los materiales de Ciencia Nuffield Primary Science.

En 1990 se trasladó a Edimburgo para ser Directora del Scottish Council for Research in Education. Desde 1999 ha sido Profesora Visitante de Educación en la Universidad de Bristol aunque esencialmente trabajando desde su hogar en Escocia.

Wynne ha sido durante su vida miembro de la UK Association for Science Education (ASE) de la cual ahora es miembro honorario, editó Primary Science Review 1999-2004, and fue su presidente en 2009. Dirigió el OECD PISA Science Expert Group, 1998-2003 un grupo de trabajo de la Royal Society (State of the Nation Report on Science and Mathematics Education 5-14). Actualmente dirige el International Oversight Committee of the Inter Academies Panel Programme on Science Education.

Fue premiada con el OBE por la Reina por sus servicios a la educación en 1991 y obtuvo un premio especial por sus distinguidos servicios a la educación en ciencias por ASE en el 2001. En el 2008 fue galardonada junto con Guillermo Fernández de la Garza con el premio internacional PURkwa “por la alfabetización científica de los niños del planeta”.

### **Pierre Léna**

El profesor Pierre Léna ha sido profesor de física y astrofísica en la Universidad Paris VII (actualmente la Universidad Paris Diderot). En asociación con el Observatorio de Paris, ha contribuido al desarrollo de la astronomía infrarroja, al Diseño del Gran Telescopio Europeo (VLT) en Chile, para nuevas técnicas en óptica aplicadas a imágenes astronómicas (adaptación de la óptica y de la interferometría). Dirigió la escuela de posgrado pf Astronomie and Astrophysique d’Ile-de-France durante muchos años y supervisó a muchos estudiantes de doctorado. Llego a ser miembro de la Academia Francesa de Ciencias en 1991, y posteriormente de la Academia Europea y de la Pontificia Academia de Ciencias.

Su involucramiento en la educación se desarrollo a la par de sus obligaciones como profesor de la universidad, cuando llego a ser Presidente del Instituto Nacional de Investigación Pedagógica de Francia (1991-1997) y se encontró con temas relacionados con la capacitación de profesores. Cuando Georges Charpak, después de obtener el Premio Nobel (1992), decidió proponer una gran reforma de educación en ciencias en las escuelas primarias de Francia, Pierre participo en el movimiento junto el físico Yves Quere. La Academia de Ciencias de Francia, de la cual estos tres científicos son miembros, apoyó decididamente este movimiento. De esta manera se estableció el proyecto basado en la indagación La main à la pâte (las manos en la masa). El proyecto tuvo un primer impacto en escuelas de Francia a pequeña escala, desarrollando procedimientos y recursos para el aula, antes de ser reconocido oficialmente en el currículo de Francia en el 2002. El proyecto se expandió internacionalmente después del 2000 ([www.lamap.fr](http://www.lamap.fr)). En 2006, el proyecto, aun apoyado por la Academia, empezó su expansión a escuelas de educación media, bajo un contrato con el Ministerio de Educación.

El éxito de estas iniciativas permitió a la Academia establecer desde finales de 2005, una oficina permanente especial, la Délégation á l’éducation et la formation, para manejar estos proyectos los cuales se han ampliado para incluir la capacitación de los profesores. El papel de la Academia es el de ofrecer opiniones y consejos a las dependencias de gobierno involucradas. Pierre ha dirigido esta Delegación desde 2006. Existen entre 20 y 30 miembros del personal, todos dedicados a la educación en ciencias, cooperación internacional y una cantidad limitada de investigación. Cada año se publican libros y otros recursos, se organizan sesiones de capacitación y se dan consejos a varios ministerios.

[ww.academie-sciences.fr/enseignement/generalities.htm](http://ww.academie-sciences.fr/enseignement/generalities.htm)

**Robin Millar**

El Profesor Robin Millar es Salters' Professor of Science Education en la University of York, Inglaterra. Con el grado de físico y el doctorado en física medica, se capacitó como profesor y enseñó física durante ocho años antes de incorporarse a la Universidad de York en 1982 como Lecturer en Educación. En el Departamento de Estudios Educativos en York, enseña a nivel de pregrado en educación, los programas de formación inicial de profesores y en el programa de maestría. También supervisa proyectos de estudiantes (principalmente profesores) a nivel de maestría y el doctorado.

Ha escrito y publicado ampliamente sobre muchos aspectos de la enseñanza y el aprendizaje en ciencias, siendo sus principales áreas de interés: el aprendizaje de los estudiantes en ciencias; diseño y desarrollo curricular en ciencia, particularmente las implicaciones de enfocarse en una alfabetización científica para el currículo y la enseñanza; y la relación entre la investigación y la práctica en la enseñanza de la ciencia. Ha dirigido grandes proyectos sobre la práctica investigativa en ciencias, y en las imágenes de la gente joven acerca de la ciencia. De 1999 – 2004, Robin fue coordinador de la Red de Investigación de la Evidence-based Practice in Science Education (EPSE) , fundada por el UK Economic and Social Research Council. La Red EPSE ha llevado a cabo cuatro proyectos interrelacionados explorando la manera de incrementar el impacto de la investigación sobre la práctica de la educación en ciencias.

Ha estado involucrado en varios grandes proyectos de desarrollo curricular. Fue miembro de los equipos de gestión y redacción del Salters' GCSE (General Certificate of Secondary Education) Science, y el Comité Asesor del Salters Horners A-level Physics y codirigió el desarrollo de un innovativo curso de AS-level course llamado Science for Public Understanding, y la Twenty First Century Science serie de cursos GCSE .

Robin fue miembro del grupo del Reino Unido en el proyecto Labwork in Science Education de la Unión Europea 1996-2000, y miembro del Grupo Experto de Ciencias del Programa OECD para la Evaluación Internacional de los Estudiantes (PISA) del 2003 al 2006. Fue Presidente de la European Science Education Research Association (ESERA) de 1999-2006 y actualmente es miembro del Comité Científico Asesor del Instituto Leibniz para la Educación en Ciencias (IPN), el centro líder de investigación y desarrollo en educación en ciencias en Alemania.

<http://www.york.ac.uk/depts/educ/people/MillarR.htm>

**Michael Reiss**

El Profesor Michael Reiss es Director de Educación en Ciencias en el Institute of Education, University of London , en donde también es Director Asociado de Investigación, Consultoría y Transferencia del Conocimiento. Graduado en Ciencias Naturales , posee un Ph.D. y un posdoctorado en comportamiento animal y biología evolutiva de la Universidad de Cambridge. Se capacitó como profesor y enseñó ciencia (principalmente biología) así como matemáticas a nivel escolar durante cinco años, antes de regresar a la educación superior en 1988.

Su interés particular en educación en ciencias es en los propósitos de la educación en ciencias, el diseño del currículo y los factores que provocan que los estudiantes busquen continuar con la ciencia. Ha tenido muchos proyectos de investigación de un amplio rango de fuentes y es autor o coautor de varios libros sobre educación en ciencias incluyendo varios sobre aspectos éticos y morales, educación sexual, evolución y aprendizaje de la ciencia fuera del salón de clases.

Michael fue Vice Presidente del Institute of Biology (1994-97), Miembro del Comité Asesor sobre Nuevos Alimentos y Procesos (1998-2001), Presidente (2000-01) del Grupo Asesor Externo de

EuropaBio's en Ética, Consejero Especialista del Comité de la House of Lords sobre Animales en Procedimientos Científicos (2001-02), Profesor Visitante en la Universidad de Kristianstad (2002) y Director de Educación en la Royal Society (2006-08). Actualmente es Vicepresidente de la British Science Association, Jefe del Science Learning Centre London, Profesor Honorario Visitante en las Universidades de Birmingham y York, Docente en la Universidad de Helsinki, Director del Proyecto Salters-Nuffield de Biología Avanzada, miembro del Consejo Farm Animal Welfare y editor de la revista Sex Education. Es Becario de la Society of Biology y de la Royal Society of Arts y miembro honorario de la British Science Association y el College of Teachers . Tiene un MBA y trabajó profesional, a tiempo parcial, como consejero durante 10 años y ha sido Sacerdote en la Iglesia de Inglaterra durante 20 años.

[www.reiss.tc](http://www.reiss.tc).

### **Patricia Rowell**

La Profesora Patricia Rowell es Profesora Emérita en Educación en Ciencias en la University of Alberta en Canadá. Su interés en la investigación se centra en el desarrollo curricular, el desarrollo de los profesores y el papel del lenguaje en ciencias escolar. En 2001-2, fue McCalla Research Professor en la Universidad de Alberta. Patricia tiene posee grados de bachiller y maestría en bioquímica del University College, London y de la University of Oxford y un doctorado en Educación en Ciencias de la University of Alberta.

Ha participado en proyectos de educación de la ciencia en Uganda, Botswana, Namibia, Sudáfrica, Australia y China. Fue patrocinada por la Canadian International Development Agency (CIDA) como profesora visitante de la Universidad de Botswana durante dos años, donde fue pionera en estudios cualitativos en el aula además de su responsabilidad en la enseñanza. Con USAID, fue designada como Consejera Técnica Superior del Gobierno de Namibia durante dos años, con la responsabilidad de desarrollar el currículo de ciencias para primaria. Subsecuentemente, como Directora del Proyecto para la formación de profesores en Namibia de la Universidad de Alberta - CIDA de un proyecto de educación, trabajó estrechamente con profesores formadores en sus programas de educación en ciencias. Sus contribuciones a los proyectos de formación de profesores financiados por en Uganda y en China incluyeron la presentación de cursos, talleres, desarrollo de materiales y supervisión de estudiantes graduados. Una publicación para profesores de ciencia en China en coautoría con la Profesora Wei Yu ha sido distribuida ampliamente, así como los materiales para el aula materiales para escuelas primarias en Namibia, Cabo Oriental y China occidental.

Como miembro del Grupo de Trabajo del Interacademy Panel Working Group on Science Education, ha colaborado con un grupo internacional de educadores en ciencia y académicos para apoyar la educación en ciencias basada en la indagación (ECBI) en países en desarrollo. Por intermedio de una invitación del gobierno de Chile, fue miembro del equipo internacional de evaluación del programa de ciencias basado en la indagación en ese país, junto con los profesores Harlen y Léna. También colabora con el Centre for Research in Learning Science at Southeast University en Nanjing, que está promoviendo la reforma educativa en ciencias en primaria a través de China.

### **Wei Yu**

La profesora Wei Yu, nacida en China, tiene un doctorado en Ingeniería Electrónica de la Universidad Técnica Aachen de Alemania. Después de graduarse del Instituto de Tecnología de Nanjing en 1965, obtuvo una beca de investigación en el Instituto de Electrónica, NIT. Fue seleccionada dentro de uno de los primeros grupos para continuar sus estudios en Alemania en

1979, y fue la primera mujer en obtener un Ph.D. en la Nueva China. Después de su regreso a China fundó el Departamento de Ingeniería Biomédica y el Laboratorio de Electrónica Molecular y Biomolecular (LMBE) en la Southeast University. De 1984 a 1993 fue Directora del LMBE y Presidenta de la Southesat Uuniversity. Ha recibido grados honorarios de ocho universidades fuera del territorio Chino.

Durante su larga carrera como profesora e investigadora en electrónica, sus significativos logros han incluido el desarrollo de bioelectrónica y el establecimiento de la electrónica molecular y biomolecular, también hizo importantes contribuciones a la reforma de la educación superior y del aprendizaje a distancia en China de 1993 -2002 cuando fue viceministra en el Ministerio de Educación. De 1994 a 2002 fue miembro del ICSU-CCBS (International Council of Scientific Unions-Committee of Capacity Building on Science).

Desde 2001 Wei Yu ha fundado una nueva investigación interdisciplinaria – La Ciencia del Aprendizaje, el área de frontera de la Mente, el Cerebro y la Educación en China - relacionando neurociencias y educación. Al mismo tiempo introdujo en China *Learning by Doing* (Aprender Haciendo), un enfoque a la educación en ciencias basado en la indagación y fundó el sitio web [www.handsbrain.com](http://www.handsbrain.com). Basado en su contribución a *Learning by Doing* en 2006 fue galardonada con el premio PURkwa por la Academia de Ciencias de Francia y la Escuela Saint Etienne Mining por sus prácticas innovadoras en la educación en ciencias. En 2007/8 fue presidenta del comité de revisión del los Estándares Nacionales para la Educación en Ciencias en Escuelas Primarias en China, el cual fue presentado al ministerio de educación a finales de 2009.

## Referencias consultadas antes, durante y después del seminario

- AAAS (American Association for the Advancement of Science. (1993) *Benchmarks for Science Literacy. Project 2016*. Oxford University Press.
- AAAS (2001) *Atlas of Science Literacy*. Washington, DC: AAAS and NSTA.
- Alexander, R. (Ed) (2010) *Children, their World, their Education. Final report and recommendations of the Cambridge Primary Review*. London: Routledge.
- AQA (Assessment and Qualifications Alliance) (2000) *Science for Public Understanding Specification for GCE Advanced Subsidiary examination*.
- Biosciences Federation (2005) *Enthusing the Next Generation*. London: Biosciences Federation.
- Bruner, J.S. (1960) *The Process of Education*. New York: Vintage Books (see also Raimi).
- 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 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.
- Ebbers, M. and Rowell, P.M. (2001) *Key Ideas in Elementary Science for Alberta Schools*. Edmonton: University of Alberta.
- 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 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. (2009) Teaching and learning science for a better future, *School Science Review*, 90 (333) 33 - 41.
- Harlen, W. (1978) Does content matter in primary science? *School Science Review* 59 (209) 614-625.
- La main à la pâte (1998) Ten principles of teaching. [http://lamap.inrp.fr/index.php?Page\\_Id=1179](http://lamap.inrp.fr/index.php?Page_Id=1179)
- Léna, P. (2009) Big ideas, core ideas in science - some thoughts. Paper prepared for the 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.

- 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 D.C.: NRC.
- 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.
- Osborne, J. and Dillon, J. (2008) *Science Education in Europe: Critical Reflections*. London: Nuffield Foundation.
- Raimi, R.A. (2004) Review of Jerome Bruner: The Process of Education  
<http://www.math.rochester.edu/people/faculty/rarm/bruner.html>
- Slater, T.F. and Slater, S.J. (2009) A science discipline based perspective on core ideas. Draft thought paper on approaches to selecting core ideas.  
[http://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:Cy8dZGPS65YJ:www7.nationalacademies.org/bose/Slater\\_CommissionedPaper.pdf+A+science+discipline+based+perspective+on+core+ides&hl=en&gl=uk&pid=bl&srcid=ADGEEsHgWgEvnnC39lkg56XCLm7PloSeMIh1n1lh7ehNxGpPICIZ-rBrF7lFKmdSza1U-wKCPBcrCEu43kmaPRke\\_tksOwARhcVVX11vJ74a3748-U-RPtcIQ1po3hCvcRqVBFIPJ&sig=AHIEtbQ\\_WUzmNuv7CCNLadNtmHyOZ8ilhg](http://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:Cy8dZGPS65YJ:www7.nationalacademies.org/bose/Slater_CommissionedPaper.pdf+A+science+discipline+based+perspective+on+core+ides&hl=en&gl=uk&pid=bl&srcid=ADGEEsHgWgEvnnC39lkg56XCLm7PloSeMIh1n1lh7ehNxGpPICIZ-rBrF7lFKmdSza1U-wKCPBcrCEu43kmaPRke_tksOwARhcVVX11vJ74a3748-U-RPtcIQ1po3hCvcRqVBFIPJ&sig=AHIEtbQ_WUzmNuv7CCNLadNtmHyOZ8ilhg)
- Smith, D.C., Cowan, J.L. and Culp, A.M. (2009) Growing seeds and scientists. *Science and Children*, September 2009, 48-51.
- 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](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.
- 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-IAS).

## Websites

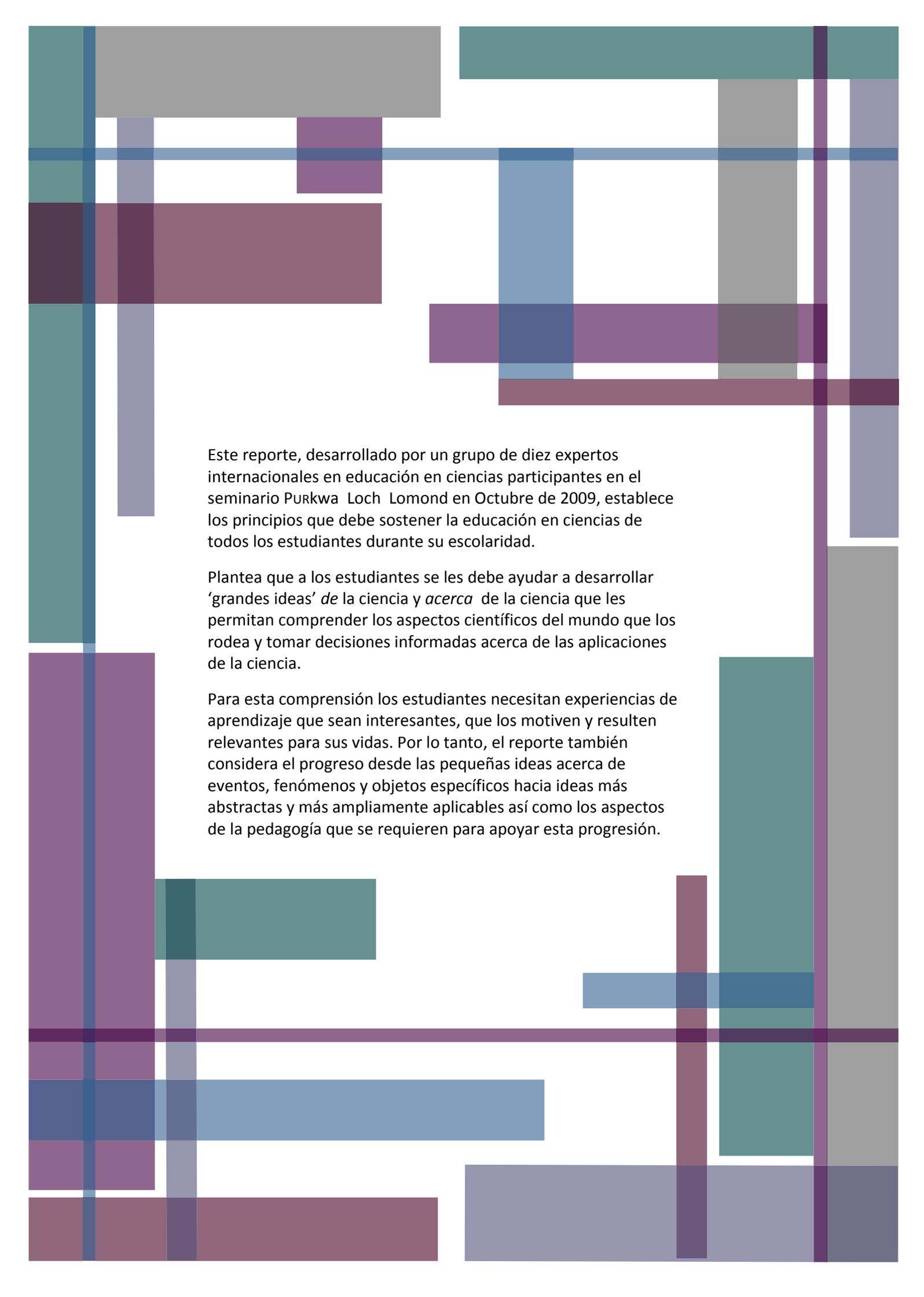
[www.lamap.fr](http://www.lamap.fr)

[science-techno-college.net](http://science-techno-college.net)

[www.academie-sciences.fr/enseignement/generalites.htm](http://www.academie-sciences.fr/enseignement/generalites.htm)

[www.fibonacci-project.eu/](http://www.fibonacci-project.eu/)





Este reporte, desarrollado por un grupo de diez expertos internacionales en educación en ciencias participantes en el seminario Purkwa Loch Lomond en Octubre de 2009, establece los principios que debe sostener la educación en ciencias de todos los estudiantes durante su escolaridad.

Plantea que a los estudiantes se les debe ayudar a desarrollar 'grandes ideas' de la ciencia y acerca de la ciencia que les permitan comprender los aspectos científicos del mundo que los rodea y tomar decisiones informadas acerca de las aplicaciones de la ciencia.

Para esta comprensión los estudiantes necesitan experiencias de aprendizaje que sean interesantes, que los motiven y resulten relevantes para sus vidas. Por lo tanto, el reporte también considera el progreso desde las pequeñas ideas acerca de eventos, fenómenos y objetos específicos hacia ideas más abstractas y más ampliamente aplicables así como los aspectos de la pedagogía que se requieren para apoyar esta progresión.