

LA ENSEÑANZA DE LA CIENCIA EN UNA SOCIEDAD CON INCERTIDUMBRE Y CAMBIOS ACELERADOS¹

GARRITZ, ANDONI

Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México
andoni@unam.mx

Resumen. A lo largo de la historia, siempre han existido épocas de cambios acelerados y percepción de incertidumbre, pero habían sido atribuibles a los poderes sobrehumanos o a las fuerzas de la naturaleza. En la actualidad, lo que hace percibirlos tan ominosos es la conciencia de la influencia humana en el futuro; ahora nosotros somos los responsables, por acción u omisión. Por otra parte, hay rasgos de la nueva sociedad que nos llevan a reflexionar sobre la magnitud de los cambios que vivimos hoy, cuando lo que cuenta para la educación es inteligencia, osadía, riesgo y diversidad. Vivimos la sociedad de la imaginación y hay que pensar cuáles son las nuevas perspectivas de aprendizaje.

En este contexto vamos a analizar los paradigmas actuales de la enseñanza de la ciencia, en particular los siguientes: afectividad, analogías, argumentación, asuntos sociocientíficos, ciencia y tecnología de frontera, competencias, conocimiento didáctico del contenido, incertidumbre, indagación, modelos y modelaje, naturaleza de la ciencia, riesgo, y tecnologías de la comunicación y la información.

Palabras clave. Didáctica de las ciencias, incertidumbre, cambios acelerados, paradigmas.

Science education in an uncertain and briskly changing society

Summary. Along history, there have always been times of brisk changes and uncertainty perception, but both had been attributed to superhuman powers, or to nature forces. Nowadays, what makes its perception so ominous is the conscience of human influence on the future: now we are responsible, by action or omission. Besides, there are characteristics of the new society that makes us to reflect on changes we are living today, when what matters for education is intelligence, daring, risk and diversity. We live in the society of imagination and we have to think what the new learning perspectives are.

In this context an analysis will be made on today's science education paradigms, the following in particular: affectivity; analogies; argumentation; communication and information technologies; competences; inquiry; models and modeling; nature of science; pedagogical content knowledge; risk; science and technology at the frontier; socio-scientific issues and uncertainty.

Keywords. Science education, uncertainty, brisk changes, paradigms.

INTRODUCCIÓN

No es la primera vez que hablamos de cambios acelerados y de la necesidad de modernizar la educación. Seguramente eso es lo que sucedió con el advenimiento de la Revolución francesa, la Independencia norteamericana o la de nuestros países iberoamericanos; todo lo ocurrido apuntaba a definir unos nuevos objetivos educativos; ni se diga con el advenimiento de la Revolución industrial, con su máquina de vapor, la transformación de los procesos productivos y la emigración de personas del campo a las ciudades; o con el surgimiento de las diversas

tecnologías, como el telégrafo, la radio, el teléfono, el automóvil, el avión, el ordenador o el móvil.

Siempre han existido épocas de cambios rápidos con percepción de incertidumbre, pero habían sido atribuidos tradicionalmente a aspectos ultrahumanos. En la actualidad, lo que hace percibirlos tan ominosos es la conciencia de la influencia humana sobre el futuro. Antes se culpaba al destino de las desgracias, ahora somos responsables, por acción u omisión.

No obstante, hay varios rasgos de la novísima sociedad que nos obligan a reflexionar (Rodríguez Ibarra, 2009):

- 1) Los ritmos. Hasta hace casi un siglo la sociedad avanzaba de forma casi imperceptible. Ahora el proceso de cambio es vertiginoso.
- 2) Densidad de información. El entorno es accesible desde cualquier punto de la Red.
- 3) Las distancias, que han empezado a desaparecer, significan ahora poco o nada.
- 4) Las materias primas. Los aspectos tradicionales han sido superados. Hoy hace falta inteligencia, creatividad, emoción e imaginación.
- 5) Los cambios. El tiempo ya no se mide en segundos. Los productos tienen ciclos de vida cada vez más cortos.
- 6) Las diferencias. Imaginar tiene ahora mucho sentido; innovar radicalmente no es un capricho. Lo importante no es ser eficiente, sino ser diferente y, a ser posible, único.

Linda Darling-Hammond² (2009) habla de cómo las expectativas del aprendizaje están cambiando rápidamente. Para el siglo XXI, considera las siguientes:

Aptitud para comunicarse; adaptabilidad para el cambio; capacidad para trabajar en grupo; preparación para resolver problemas; aptitud para analizar y conceptualizar; capacidad para meditar y mejorar el desempeño; aptitud para autoadministrarse; capacidad para crear, innovar y criticar; aptitud para involucrarse en aprender cosas nuevas, siempre; y capacidad para cruzar las fronteras de los especialistas.

En breve, parece ser que en la nueva sociedad lo que cuenta es la inteligencia, la osadía, el riesgo, la diversidad y la imaginación. ¿Estamos preparados con una educación ad hoc para esta nueva sociedad? ¿Cuáles son las expectativas de aprendizaje para esta «Sociedad de la Imaginación»?

¿CUÁLES SON LOS PARADIGMAS DE LA ENSEÑANZA DE LA CIENCIA PARA ESTE SIGLO?

Se desarrollarán, para empezar, los tópicos cruciales para decidir sobre las nuevas expectativas de aprendizaje en este siglo, que serán denominados «paradigmas de la enseñanza de la ciencia» y van a ser, por orden alfabético: afectividad; analogías; argumentación; aspectos sociocientíficos; ciencia y tecnología de frontera; competencias; conocimiento didáctico del contenido; incertidumbre; indagación; modelos y modelaje; naturaleza de la ciencia; riesgo; y tecnologías de la información y la comunicación. Se van a explorar paulatinamente, de uno en uno en ese orden, a continuación.

Afectividad

La enseñanza está altamente cargada de sentimientos. En particular, las reacciones afectivas que existen detrás de los practicantes de la enseñanza de la ciencia logran la identificación de los profesores con su profesión. Llama la atención que haya relativamente poca investigación sobre el análisis del papel que juega la afectividad en la vida, carrera y comportamiento en el aula de los profesores de ciencia: de ese clima favorable que puede establecerse en el salón de clase (Garritz, 2009). Esperamos que este déficit sea llenado en el futuro cercano y que el aspecto afectivo sea resaltado tanto en la investigación como en la práctica.

Muestro un sexteto de frases de grandes pensadores, una expresada casi en cada siglo, del XVII al XXI, que conviene recordar para aquilatar la porción afectiva de la enseñanza:

De nada sirve que el entendimiento se adelante si el corazón se queda

Baltasar Gracián (1601-1658)

Tell me and I forget. Teach me and I remember. Involve me and I learn.

Benjamín Franklin (1706-1790)

Para cambiar a la persona hay que amarla. Nuestra influencia llega sólo a donde llega nuestro amor.

Johann Heinrich Pestalozzi (1746-1827)

Yo os enseño –en fin–, o pretendo enseñaros, el amor al prójimo y al distante, al semejante y al diferente, y un amor que exceda un poco al que os profesáis a vosotros mismos, que pudiera ser insuficiente.

Antonio Machado (1875-1939), 1936, p. 100.

Cualquier descripción de la naturaleza humana que ignore la motivación y la emoción tiene una utilidad limitada para facilitar el aprendizaje y la pedagogía.

Howard Gardner (1943-...)

La educación... ni empieza ni termina en los territorios de la razón. Abraza otras formas de desarrollo de nuestro espíritu; las que hoy empiezan a vislumbrar las teorías de las inteligencias múltiples y de la inteligencia emocional.

Pablo Latapí (1927-2009).

Paul R. Pintrich (1953-2003) trabajó en la Escuela de Educación de la Universidad de Michigan, Estados Unidos. Su artículo sobre la *cognición caliente* (Pintrich, Marx y Boyle, 1993) cambió notablemente la investigación sobre el cambio conceptual, ya que destacó a la motivación como un factor determinante de carácter afectivo.

Relacionados con los aspectos afectivos, del lado de la psicología ha surgido un mar de las llamadas autoCREENCIAS, tales como autocontrol, autoestima, autoeficacia, autorregulación, autoconcepto y autoconfianza, por citar sólo unas cuantas.

Los psicólogos educativos han examinado estas auto-creencias durante décadas y han concluido que los estudiantes con positivas y fuertes se ponen metas académicas más retadoras a sí mismos, persisten más tiempo en tareas difíciles, se sienten menos ansiosos para lograr sus metas y disfrutan más de su trabajo académico (Nieswandt, 2007).

Zembylas (2007) nos dice recientemente: «Aunque hay mucho por hacer acerca del papel del conocimiento emocional en la enseñanza, llegar a comprender la dimensión afectiva del conocimiento didáctico del contenido debería facilitar las investigaciones futuras del conocimiento del profesor».

Pronostico que iremos avanzando paulatinamente en la investigación de la dimensión afectiva en la enseñanza y el aprendizaje, la que reconozco ahora como una porción muy importante del conocimiento didáctico de los profesores (Garritz et al., 2008; Garritz, 2010).

Analogías

Las analogías pueden considerarse como un subconjunto de los modelos, ya que el razonamiento analógico es la comparación de estructuras o funciones entre un campo bien conocido (la fuente o el análogo) y un dominio de conocimiento nuevo o parcialmente nuevo (el objetivo). Los modelos y el modelaje son aspectos clave de la ciencia y, consecuentemente, de la educación en la ciencia (Treagust y Chittleborough, 2001).

Estos autores mencionan que las analogías son estimulantes por ser motivadoras, pero dicen las precauciones que hay que tener al enseñar con ellas, cuando no se identifica adecuadamente el objetivo y la fuente de la analogía, cuando pueden surgir concepciones alternativas por su aplicación inefectiva.

Un ejemplo de la validez del uso de analogías está en la siguiente frase de MariKay Orgill y George Bodner:

Ninguna situación con la que nos encontramos es exactamente como una situación con la que nos hemos encontrado previamente, y nuestra capacidad de aprender y sobrevivir en el mundo está basada en nuestra capacidad de encontrar similitudes entre situaciones pasadas y presentes, y utilizar el conocimiento que hemos ganado de situaciones en el pasado para manejar las situaciones actuales. La analogía es poderosa ya que nos permite crear similitudes para una variedad de propósitos, tales como resolver problemas, crear explicaciones o construir argumentos. (Orgill y Bodner, 2005).

Los profesores de química seguiremos empleando durante muchos años la analogía de la cerradura y la llave para representar el sustrato y el catalizador; o el baile de parejas para referirnos al reactivo limitante; o a la docena del químico para hablar del mol; o el paso por la montaña para referirnos a la energía de activación de una reacción. Caamaño (2007, p. 28) nos da más ejem-

plos de otros modelos que deben ser construidos en un curso de química:

El modelo cinético-corpúscular de los gases, el modelo atómico-molecular de Dalton, el modelo de ión, el modelo estructural de los diferentes tipos de sólidos, el modelo de enlace químico, los sucesivos modelos atómicos, el modelo de reacción química (en sus aspectos corpúscular, termoquímico, cinético, de equilibrio, etc.), los diferentes modelos o teorías de ácido y base, etc.

También el autor de este trabajo ha aportado una analogía (Garritz, 1997) entre las disponibles para la enseñanza del equilibrio químico (Raviolo y Garritz, 2009).

Argumentación

Otro paradigma para la educación del futuro es la argumentación. Hay que introducirla poco a poco, desde los primeros años en la escuela. La idea es poder llegar a una sociedad en la que la discusión democrática cobre vigencia y la consulta pública se vuelva una realidad cotidiana.

Argumentar es una operación mental que consiste en buscar y presentar datos y pruebas para fundamentar, demostrar y hacer creíble algo (conocimientos, problemas, resultados, hechos, fenómenos, contradicciones...). Argumentamos para demostrar o debatir mediante el ofrecimiento de pruebas y razonamientos lo más completos y estructurados posible para mostrar o convencer de algo (De la Chaussée, 2009).

La conducción del tema de la argumentación a la cima de los más empleados en la literatura de la investigación en la educación científica se inició con Rosalind Driver, quien en la conferencia de la ESERA en Roma, 1997, presentó un trabajo con Paul Newton titulado «Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms», en el que identificaba las estrategias pedagógicas para promover la habilidad de la argumentación en los jóvenes, en la búsqueda de la mejora de dicha capacidad. Ella murió en noviembre de ese mismo año y apareció posteriormente como coautora del artículo de Newton, Driver y Osborne (1999):

Desde la perspectiva socio-lingüística aprender dentro de una disciplina requiere adoptar las normas del lenguaje de esa disciplina. Para gente joven que aprende ciencia, esto requiere su participación a través de hablar y escribir, para que tengan sentido y piensen a través de los hechos científicos, los experimentos y las explicaciones a los que se les introduce (p. 553).

Son los modos dialógicos de interacción los que resultan un elemento esencial de la enseñanza y el aprendizaje actual, ya que un aspecto importante de la vida contemporánea es la siempre creciente gama de elección acoplada con el crecimiento de las tecnologías de la co-

municación, tales como los teléfonos móviles e Internet. Tales tecnologías ponen énfasis en la conectividad sobre la autonomía, los procesos sobre los productos, y los sistemas sobre los detalles; y posibilitan la autoexpresión y la construcción de la identidad (es claro el ejemplo de las redes sociales, preferidas por la juventud –LinkedIn o Facebook– como instrumento para la comunicación). El conocimiento para los jóvenes de hoy se vuelve un objeto a ser adquirido como y cuando se le necesita a través de la interacción social y dialógica más que mediante la recepción pasiva.

Ha venido creciendo y crecerá aún más la práctica de la argumentación en el aula, así como su investigación en los próximos años. Esperamos que surjan más modelos para su análisis, tan exitosos como el patrón de argumentación de Toulmin (1958) u otros más analizados recientemente (Erduran y Jiménez-Aleixandre, 2008).

Aspectos sociocientíficos

Esta corriente de los aspectos sociocientíficos (ASC) y el razonamiento moral está representada primordialmente por Dana Zeidler (2003), un académico de la Universidad del Sur de Florida, en Tampa, Estados Unidos. La importancia de la alfabetización científica se reconoce al contemplar la toma de decisiones informada, la capacidad de analizar, sintetizar y evaluar información, vérselas sensiblemente con el razonamiento moral y los aspectos éticos, y entender las conexiones inherentes a los aspectos sociocientíficos (Zeidler, Walker, Ackett, y Simmons, 2002). Para el punto de vista del autor, la dimensión ciencia-tecnología-sociedad (CTS) tiene cabida también en esta corriente.

Con relación a los aspectos de riesgo (como los derivados de la biotecnología moderna, la clonación o la nanotecnología) también se espera que prospere la consulta ciudadana, así como en otros temas en los que domina la incertidumbre, como el cambio climático o la transgénesis. Pensamos que el estudiante debe irse respondiendo paulatinamente preguntas cada vez más complejas, como las siguientes: ¿Quiénes son los involucrados en este asunto sociocientífico? ¿Cuáles son sus intereses? ¿La voces de quiénes se escuchan y cuáles son marginadas o ignoradas? ¿Qué intenciones o motivos guían la toma de decisiones? ¿Quién se beneficia? ¿Quién sale perdiendo? ¿Es justo y equitativo? ¿Esta decisión promueve el bien común o no? ¿Sirve a necesidades de la protección ambiental?

Ciencia y tecnología de frontera

Los contenidos disciplinarios seguirán ocupando un lugar primordial en la enseñanza de la ciencia. El conocimiento de la ciencia es lo primero que se debe saber para dar una buena clase. En particular, los conocimientos de frontera jugarán un papel muy importante en esa clase de profesor o profesora ejemplar. Damos algunos ejemplos concretos para la enseñanza de la ciencia (por

orden alfabético también) que no pueden olvidarse en los diversos niveles de enseñanza:

Adelgazamiento de la capa de ozono. Mario Molina y Sherwood Rowland (recibieron el Premio Nobel de Química en 1995) fueron capaces de pronosticar algo que ocurre a 20 km de altura en la atmósfera terrestre: el adelgazamiento de la capa de ozono al iniciarse la aparición del Sol en la Antártida en el mes de octubre. Igualmente pudieron revelarse sus causas como la emisión de gases propelentes y refrigerantes (los clorofluorocarbonos) producidos sobre la superficie de la Tierra.

Alimentos genéticamente modificados. Otro tema polémico. Hasta muy recientemente empiezan a surgir pruebas contundentes sobre el impacto que las acciones de las compañías que promueven este tipo de alimentos pueda tener sobre la disminución de la biodiversidad y la posible pérdida de las especies tradicionales de plantas.

Calentamiento global. El 5 de abril de 2009 se informó, como claro avance del calentamiento global del planeta, el rompimiento del puente de hielo que unía la placa Wilkins a la Antártida. Cada día hay menos duda del origen antropocéntrico del fenómeno, la creciente desertificación, la elevación del nivel del mar y muchas otras amenazas.

Cosmos. El telescopio Hubble nos ha permitido desde abril de 1990 mirar con acercamiento a múltiples fenómenos antes no registrados y verificar muchas hipótesis previas, tales como los hoyos negros o los planetas existentes que giran alrededor de otras estrellas. Más de 6.000 artículos científicos han sido publicados basados en los datos del Hubble.

Energías renovables. Es decir, obtenidas mediante fuentes renovables no fósiles: eólica, solar, aerotérmica, geotérmica, hidrotérmica y oceánica, hidropotencia, biomasa, gas de vertederos y de tratamiento de aguas residuales, y biogases. Es pequeña todavía la proporción de energías renovables que se emplea para consumir energía a nivel global (18% en 2006 en el mundo), aunque la Unión Europea ha hecho la promesa de alcanzar el 20% en el año 2020.

Enfermedad de Alzheimer. Se ha encontrado que la enfermedad de Alzheimer está asociada con la presencia de placas de una proteína, llamada β-amiloide, y de marañas (filamentos helicoidales) de neurofibrillas intracelulares de la proteína-τ en la corteza cerebral y en la materia gris subcortical. Hoy se emplea una gran cantidad de técnicas que buscan el hallazgo temprano del mal (tomografía de emisión de positrones, espectroscopia de resonancia raman, imagen por resonancia magnética nuclear y fluorescencia, por ejemplo).

Genética: ¿hacia dónde vamos? En febrero de 2001 se anunció en las revistas *Science* y *Nature* la obtención del primer borrador de la secuencia del genoma humano. Hoy, algunos de los retos en medicina genómica consisten en identificar: individuos sanos con alto riesgo de

padecer alguna enfermedad; pacientes con alto riesgo de presentar complicaciones severas (p. ej. daño renal en diabéticos); pacientes con riesgo de presentar una reacción adversa a medicamentos (potencialmente letal); y tumores malignos de mal pronóstico.

Nanociencia y nanotecnología. Si uno preguntara al azar a ciudadanos informados que identifiquen los retos presentes y futuros de carácter global con arreglo potencialmente tecnológico, la lista incluiría una serie de retos que el campo de la nanotecnología³ pudiera enfrentar en unos pocos años (Kulinowski, 2003). Al dividir más finamente la materia crece la proporción de átomos que están en la superficie con relación al de los del cuerpo del sólido, transformándose sus propiedades de forma radical.

Origen de la vida. Éste es un tema en el que todavía los científicos van a pasar un tiempo en dilucidar. El problema hoy es decidir algunos de los pendientes: qué fue primero, si un sistema genético de replicación o una membrana celular dentro de la cual estuvieran presentes todos los elementos para la síntesis; cómo se autorreplica el ARN; cuál es la ruta de síntesis de los nucleótidos y por qué en la vida todos los aminoácidos son de mano izquierda y todos los azúcares y nucleótidos son de mano derecha.

Competencias

Desde el siglo xv nos encontramos con dos verbos en castellano «*competir*» y «*competer*» que, proviniendo del mismo verbo latino («*competere*»), se diferencian significativamente (Urzúa y Garritz, 2008):

1. «*Competer*»: pertenecer o incumbir, dando lugar al sustantivo «*competencia*» y al adjetivo «*competente*» (apto, adecuado).
2. «*Competir*»: pugnar, rivalizar, dando lugar también al sustantivo «*competencia*», «*competitividad*» y al adjetivo «*competitivo*».

Como educadores debemos prestar más atención al *competer* que al *competir*, lo incierto es que el sustantivo «*competencia*» deriva de ambos verbos. Se trata de un tema de interés que requiere todavía de muchas investigaciones para desarrollarlo correctamente.

En el estudio PISA 2006 (OCDE, 2007) se estudian competencias como la capacidad de reconocer preguntas o temas susceptibles de ser investigados científicamente, identificar términos clave para la búsqueda de información científica, así como los rasgos característicos de la investigación de corte científico. Se requiere que los estudiantes posean un conocimiento *sobre* la ciencia, aunque en ocasiones puede ser necesario recurrir también en mayor o menor grado al conocimiento *de* la ciencia.

Podemos ver los resultados para los países iberoamericanos con sus estudiantes caracterizados de los niveles 2 a 5 en la ilustración 1.

Ilustración 1

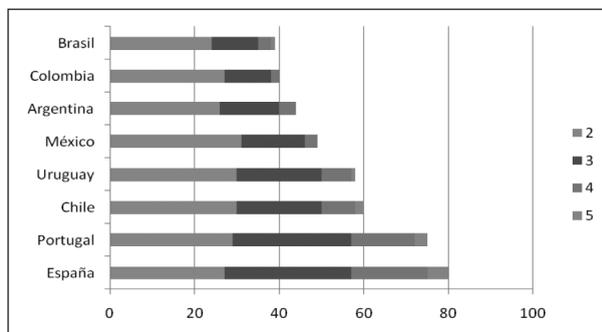


Ilustración 1. Los datos corresponden a porcentajes de alumnos en cada uno de los niveles y los países están ordenados según la suma de los porcentajes de los niveles 2 a 5. Vemos que en España solamente un 20% de los alumnos están en los niveles 0 y 1, mientras que ese mismo dato para Brasil es el 61%.

Conocimiento didáctico del contenido

Autores como Klafki (1958) han insistido hace medio siglo en la importancia de plantear «hechos, fenómenos, situaciones, experimentos, controversias, intuiciones, imágenes, indicaciones, relatos, situaciones, observaciones, experimentos, modelos y tareas» apropiados para ayudar al alumnado a responder de la manera más autónoma posible sus preguntas dirigidas a los aspectos esenciales de algún tema. No obstante, es Shulman (1986) a quien se refieren las investigaciones recientes sobre el concepto acuñado por él como «*Pedagogical Content Knowledge*», que ha derivado en España como «*conocimiento didáctico del contenido*» (CDC) y que el autor de este artículo llama «*conocimiento pedagógico del contenido*» (Garritz y Trinidad, 2006), aunque en tierras españolas se ajusta al nombre del CDC (Garritz et al., 2008).

En el CDC se incluye, para los tópicos más regularmente enseñados en el área temática del profesor, las analogías, metáforas, ejemplos, símiles, demostraciones, simulaciones, manipulaciones, o similares, como las formas más efectivas para comunicar los entendimientos o las actitudes de este tópico a estudiantes con antecedentes particulares. Igualmente el CDC incluye las limitaciones existentes tanto para la enseñanza como para el aprendizaje del tema en cuestión.

Por todo esto Magnusson, Krajcic y Borko (1999) han insistido en los siguientes cinco elementos del CDC, todos referidos a la enseñanza de la ciencia:

1. Visión y propósito.
2. Conocimiento y creencias sobre el currículo.
3. Conocimiento y creencias del entendimiento estudiantil de tópicos específicos.

4. Conocimiento y creencias sobre estrategias de instrucción para enseñar.

5. Conocimiento y creencias sobre evaluación.

No obstante, Park y Oliver (2008) han insistido en incorporar un sexto elemento que es una componente del tipo afectivo:

6. Eficacia del profesor.

Basta con un buen ejemplo para destacar la importancia del CDC en la enseñanza y se lo vamos a tomar prestado a Feynman (1963/1995) con la ya famosa metáfora: «Si una manzana es agrandada hasta el tamaño de la Tierra, entonces sus átomos alcanzarían aproximadamente el tamaño de la manzana original». ¿Existe una mejor manera de enseñar cuán pequeños son los átomos?

No queda duda de que el tema del CDC va a reunir todavía un sinnúmero de trabajos de investigación porque su idea conduce a que cada tópico científico tenga su didáctica específica y aunque no resulta simple acabar con un inventario de CDC apropiados para cada tema, vamos a ver pasar diversos de ellos por la literatura. El *International Journal of Science Education* acaba de publicar en 2008 (Volumen 30, número 10) un número especial sobre este tema, en el que pueden consultarse nuestras conclusiones sobre el tema de «cantidad de sustancia», una de las magnitudes fundamentales en el Sistema Internacional de Unidades (Padilla, Ponce, Rembado y Garritz, 2008).

Incertidumbre

El siglo pasado ha descubierto la imprevisibilidad del futuro. Lo impredecible de los hechos que ocurren en la naturaleza se ha vuelto cotidiano con la teoría del caos. La revelación de que un comportamiento complejo y desorganizado pueda provenir de una ecuación elemental determinista fue una sorpresa para muchos científicos. Vamos a tocar este tema con varias citas textuales: de un científico americano –Richard Feynman–, un filósofo austriaco de la ciencia –Karl Popper–, un antropólogo, sociólogo y filósofo francés –Edgar Morin–, un poeta español –Antonio Machado– y un filósofo bilbaíno –Daniel Innerarity; todas estas frases resultan ser contundentes en cuanto a que actualmente la incertidumbre domina el panorama del conocimiento:

Todo conocimiento científico es incierto. Esta experiencia con la duda y la incertidumbre es importante... Creo que para resolver cualquier problema que no haya sido resuelto nunca antes tenemos que dejar la puerta entreabierta a lo desconocido. Tenemos que admitir la posibilidad de que no tengamos toda la razón. De lo contrario, si uno ha tomado ya su decisión, es muy probable que no lo resuelva (Feynman).

La ciencia no es un sistema de aseveraciones ciertas que avanza uniformemente hacia un estado de irrevocabi-

lidad. Nuestra ciencia no es conocimiento (*epistēmē*): nunca se puede declarar que se ha obtenido la verdad... La exigencia de objetividad científica hace inevitable que cada aseveración deba ser *provisional por siempre*. Nosotros no sabemos, sólo podemos suponer (Popper).

Las ciencias nos han hecho adquirir muchas certezas, pero de la misma manera nos han revelado innumerables campos de incertidumbre. La conciencia del carácter incierto del acto cognitivo constituye la oportunidad para llegar a un conocimiento pertinente, el cual necesita exámenes, verificaciones y convergencia de indicios [...] Repitámoslo una vez más: el conocimiento es navegar en un océano de incertidumbres a través de archipiélagos de certezas (Morin).

Yo os enseño una duda sincera, nada metódica, por ende, pues si yo tuviera un método, tendría un camino conducente a la verdad y mi duda sería pura simulación. Yo os enseño una duda integral, que no puede excluirse a sí misma, dejar de convertirse en objeto de duda, con lo cual os señalo la única posible salida del lóbrego callejón del escepticismo (Machado).

La sociedad del conocimiento ha efectuado una radical transformación de la idea de saber, hasta el punto de que cabría denominarla con propiedad la sociedad del desconocimiento, es decir, una sociedad que es cada vez más consciente de su no-saber y que progresa, más que aumentando sus conocimientos, aprendiendo a gestionar el desconocimiento en sus diversas manifestaciones: inseguridad, verosimilitud, riesgo e incertidumbre (Innerarity).

Indagación

El llamado «Informe Rocard» pretendió conocer el saber-cómo y las buenas prácticas que podrían traer un cambio radical en el interés de la gente joven por la ciencia. Su recomendación más importante es la «Educación en ciencia basada en la indagación» (IBSE, por las siglas de «inquiry based science education»):

Una reversa a la pedagogía de la enseñanza de la ciencia escolar nos dará los medios para incrementar el interés en la ciencia: de principalmente deductiva hacia los métodos basados en la indagación.

(Rocard et al., 2007).

En los «National Science Education Standards» de los Estados Unidos (NRC, 1996) la indagación científica se define como: «Una actividad polifacética que implica hacer observaciones; plantear preguntas; examinar libros y otras fuentes de información para ver qué es lo ya conocido; planificar investigaciones; revisar lo conocido hoy en día a la luz de las pruebas experimentales; utilizar instrumentos para reunir, analizar e interpretar datos; proponer respuestas, explicaciones y predicciones; y comunicar los resultados» (p. 23).

También Joseph Schwab fue una voz influyente en el establecimiento de esta visión de la educación científ-

ca en la década de 1960. Este educador arguyó que la ciencia debía verse como estructuras conceptuales que fueran frecuentemente revisadas como resultado de nuevas pruebas. Su visión sugirió que los profesores debían presentar la ciencia como un proceso de indagación; y que los estudiantes debían emplearla para aprender los temas de la ciencia. Para lograr estos cambios, Schwab recomendó que los profesores de ciencia utilizaran primero el laboratorio, más que como continuación de, como guía de la fase de la enseñanza teórica de las ciencias (Garritz, 2006).

Modelos y modelaje

En los estándares de la educación científica de Estados Unidos se cita que los modelos son esquemas tentativos o estructuras que corresponden a objetos, eventos o tipos de sucesos que tienen un poder explicativo. Los modelos pueden tomar muchas formas, incluyendo objetos físicos, planes, construcciones mentales, ecuaciones matemáticas y simulaciones computacionales (NRC, 1996, p.117).

Por su parte nos dice Rosária Justi, una experta brasileña en el tema, que un modelo puede definirse como «una representación simplificada de un objeto, un evento, un proceso o una idea producida con el propósito específico de dar una explicación de esa entidad. El modelaje –el proceso continuo y dinámico de crear, probar y comunicar modelos– es una habilidad central para la indagación científica» (Maia y Justi, 2009).

Chamizo (2006) nos da ocho características de los modelos, como un intento de definición:

«Son representaciones; Son instrumentos; Son analogías con la realidad; Son diferentes de la realidad; Se construyen; Se desarrollan de manera iterativa a lo largo de la historia; Deben ser aceptados por la comunidad científica; y pueden ser de dos tipos: icónicos y conceptuales».

Por su parte, Rosalind Driver nos habla del modelaje como la actividad primordial en el desarrollo de la ciencia:

La actividad principal de los científicos es evaluar cuál de entre dos o más modelos rivales encaja con las pruebas disponibles y, por lo tanto, cuál representa la explicación más convincente para determinado fenómeno en el mundo.

(Driver et al., 2000).

La elaboración de modelos es una de las actividades más importantes que se realizan en las clases de química. Erduran y Duschl lo dicen así:

Para aspirar a un aprendizaje efectivo de la química en los salones de clase hay que mostrar lo que «los químicos hacen», es decir, modelar la estructura y la reactividad de la materia (2004, p. 130).

Naturaleza de la ciencia

Actualmente existe, en la comunidad de investigadores en didáctica de las ciencias naturales, consenso unánime acerca de que la alfabetización científico-tecnológica involucra, además de saber ciencias –y en forma no menos importante, saber *sobre* las ciencias–, qué son y cómo se elaboran, qué características las diferencian de otras producciones y emprendimientos humanos, cómo cambian en el tiempo, cómo influyen y son influenciadas por la sociedad y la cultura. Este conocimiento se ha dado en llamar naturaleza de la ciencia (NdC, en adelante).

Los libros de texto tradicionales sólo desarrollan conocimientos científicos y se rigen por la lógica interna de la ciencia, sin preguntarse sobre qué es la ciencia, cómo funciona internamente, cómo se desarrolla, acerca del origen de los conocimientos, de su fiabilidad, de cómo se obtuvieron, si ello ocurre con cooperación y colaboración, qué implicaciones tiene el juicio de los pares, para qué se utilizan comúnmente los conocimientos, qué beneficios reportan para la sociedad, y otras cuestiones más externas a la labor científica (Garritz, 2005).

La historia, filosofía y sociología de la ciencia no tienen todas las soluciones para la crisis educativa actual pero sí tienen algunas respuestas. Pueden (Matthews, 1994): humanizar las ciencias y acercarlas más a los intereses personales, éticos, culturales y políticos; hacer las clases más estimulantes y reflexivas, incrementando así las capacidades del pensamiento crítico; Contribuir a una comprensión mayor de los contenidos científicos; contribuir un poco a superar el «mar de sinsentidos» ... de las clases de ciencias, donde se recitaban fórmulas y ecuaciones, pero donde pocos conocían su significado; y mejorar la formación del profesorado contribuyendo al desarrollo de una epistemología de la ciencia más rica y más auténtica, esto es, a un mejor conocimiento de la estructura de la ciencia y su lugar en el marco intelectual de las cosas.

Mellado (2003) revisa las investigaciones sobre el cambio didáctico del profesorado de ciencias experimentales y organiza la información mediante una analogía con el proceso de cambio científico, según distintas teorías de la filosofía de la ciencia, analizando y valorando las aportaciones de los distintos modelos. El papel primordial de la historia en la enseñanza de la NdC fue encarado por Monk y Osborne (1997), cuando mencionan a los maestros «que aquellos que olviden la historia están condenados a repetirla». Rudge y Howe (2009) insisten actualmente en que un enfoque de fin abierto de resolución de problemas puede ser útil para poner a pensar a los estudiantes en captar el razonamiento que condujo en el pasado a los científicos a alcanzar la mejor comprensión de los fenómenos. Adúriz-Bravo (2005) ha reunido una serie de recomendaciones prácticas para abordar el tema de la NdC en el aula básica. Finalmente, por parte del autor de este trabajo, se ha contribuido a estructurar la relación entre el concepto kuhiano de inconmensurabilidad y los modelos múltiples de aprendizaje de los estudiantes universitarios de química (Flores, Gallegos, Garritz y García-Franco, 2007).

Riesgo

Riesgo es «una situación o suceso en el cual se pone en juego algo valioso para los seres humanos, y donde el resultado es incierto» (Jaeger, Renn, Rosa y Webler, 2001). Parece que la palabra viene del Latín *resgare* que se usaba para describir la navegación marítima peligrosamente cercana a los acantilados o riscos; para llegar más rápido, se arriesgaba. Luhmann (1993) agrega que «La pérdida de legitimidad es el riesgo primario –no el riesgo técnico.»

Riesgo es la probabilidad de daño por la decisión que se toma frente a un peligro para ganar algo a cambio (Arjonilla, 2001). Es, entonces, la posibilidad de un efecto adverso o daño físico, psicológico, social o ambiental para la salud o los bienes como consecuencia de una decisión tomada, por nosotros o por otros, frente a un agente o peligro físico, químico, biológico, psicológico o social. El daño depende en esencia de la vulnerabilidad que es la susceptibilidad de sufrirlo, así como la mayor o menor capacidad de recuperación del mismo, llamada resiliencia. Entonces, la resiliencia se refiere a la capacidad de las personas o las economías para absorber las pérdidas y recuperarse. Los hogares pobres suelen tener baja resiliencia a las pérdidas porque no cuentan con ahorros, reservas o seguros.

Un ejemplo de estas definiciones que nos lleva a su empleo adecuado: Existe la posibilidad (riesgo) de que personas que consumen en forma excesiva (vulnerabilidad) alcohol (peligro) desarrollen cirrosis hepática (daño).

Los estudios de percepción de riesgo nos indican que el riesgo es una noción construida socialmente, variable de un tiempo y lugar a otro. Se percibe normalmente como menos riesgoso lo que resulta más cercano al perceptor y más riesgoso lo más alejado, aunque la realidad de las probabilidades en términos de datos reales diga otra cosa. La tabla 1 muestra una clasificación propuesta por Hadden y Bales (1989) y modificada por Arjonilla (2001).

Tabla 1
Percepción de riesgos según sus características.

| Se percibe menos riesgoso lo | Se percibe más riesgoso lo |
|--|---|
| VOLUNTARIO (Fumar) | INVOLUNTARIO (Contaminación industrial) |
| NATURAL (Huracán, temblor) | ANTROPOGÉNICO (Fuga de combustible, calentamiento global) |
| FAMILIAR (Gas doméstico) | EXÓTICO (Energía nuclear) |
| CRÓNICO (Accidentes de tránsito) | SÚBITO (Descarrilamiento de tren) |
| QUE TIENE BENEFICIOS VISIBLES (Insecticidas) | QUE TIENE BENEFICIOS OCULTOS (Manipulación genética) |
| CONTROLADO POR UNO (Manejar automóvil) | CONTROLADO POR OTROS (Viajar en avión) |
| EQUITATIVO O JUSTO (Falta de agua en todo el barrio) | DISPAREJO O INJUSTO (Agua contaminada en mi calle) |

Resulta imprescindible incluir en la educación la noción de riesgo, ya que: «Para todo tipo de riesgo que afecte intereses colectivos de un sector de la sociedad o de la naturaleza, es éticamente indispensable la participación pública en el proceso que va de la identificación a la gestión del riesgo» (Olivé, 2007). No cabe duda de que tenemos mucho que aprender y que enseñar acerca del riesgo.

Tecnologías de la Información y la Comunicación

La información visual juega un papel central en la enseñanza. La evolución de las técnicas computacionales en la última década ha traído nuevas oportunidades para desarrollar ambientes virtuales para el aprendizaje, los cuales podrán cambiar las formas de presentar y visualizar el conocimiento científico. En los últimos años se ha constatado un auge en el uso de los materiales hipermedia en la enseñanza de la ciencia, llegándose a asignar a estos materiales el papel de catalizadores de un cambio en la docencia ya que pueden suplir carencias de los libros de texto en cuanto a interactividad, dinamismo y tridimensionalidad. Lejos de quedarse en soportes físicos sólo consultables en ordenadores personales, las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) permiten al profesorado y al alumnado la posibilidad de proyectar estos materiales y presentaciones multimedia en las aulas (Jiménez y Núñez, 2009).

Además, a la hoy llamada «generación Net» es imposible mantenerla atenta en un salón de clase tradicional, con un maestro sentado que expone un contenido que se puede perfectamente consultar en Internet. Estos alumnos prefieren hacer la búsqueda por sí mismos, contrastar la información y localizar otras fuentes, mientras elaboran mapas o visualizaciones del contenido; en fin, están participando activamente en la construcción de su conocimiento, a su propio ritmo y con su estilo personal.

Las tecnologías de la información y la comunicación se volverán cada vez más relevantes para la discusión de la educación general, debido a su papel dominante en nuestra vida cotidiana —necesitamos tamizar críticamente más y más información de un creciente número de fuentes cuestionables.

(Schudson y Smelzer, 2007, p. 39).

El problema no se puede reducir tan sólo a tener o «introducir» tecnología. Lo que se impone es hacer un buen uso de ella, es decir, un empleo acorde con la naturaleza y finalidad del proceso al cual se aplica y debe «ajustarse» para que sea capaz de dar los resultados que posibilitan sus extraordinarias potencialidades y que se justifique plenamente la inversión que se realiza en ella.

CIERRE

El tema central de la conferencia-internacional-2009 de la National Association of Research in Science Teaching fue el de «Grandes retos y grandes oportunidades de la educación en ciencia». Charlene M. Czerniak (2009),

ex-presidenta hoy de la asociación, envió un correo electrónico a todos los socios y reunió un decálogo con las ideas más frecuentemente expresadas, las que vale la pena compartir:

1. Exposición a la ciencia desde los primeros años de vida. Proveer experiencias de alta calidad para la niñez temprana y los grados elementales.

2. Enseñar ciencia para la justicia social. Poner atención a asuntos como la pobreza, la diversidad racial y étnica, y la equidad de género.

3. Aspectos de diseño metodológico. Se recomienda cuidar los tamaños de muestras, la duración de los estudios y la aproximación metodológica –métodos cualitativos, cuantitativos y mixtos.

4. Creación y utilización de evaluaciones fidedignas. Crear instrumentos para medir el aprendizaje o las actitudes hacia la ciencia con precisión, mediante el empleo de evaluaciones válidas y diversas.

5. Aspectos curriculares. Tender a currículos interdisciplinarios, de vida diaria, con materiales basados en la indagación, que creen alfabetización científica e integración de la tecnología.

6. Investigación de la práctica. Fomentar la investigación de métodos educativos que se empleen con éxito en el aula.

7. Investigación sobre las políticas. Conducir investigaciones sobre políticas, cerrando la desconexión entre los tomadores de decisiones y los investigadores.

8. Mejoramiento de la preparación de profesores. Proporcionar a los candidatos a profesores los contenidos y las capacidades pedagógicas suficientes, incluyendo habilidades tecnológicas.

9. Realzar la actualización del profesorado en ejercicio. Dar cursos a los profesores en la práctica que incluya aspectos de contenidos, capacidad pedagógica y habilidades tecnológicas.

10. Valorar la educación de la ciencia. Cosechar apoyo de los padres y la comunidad por la ciencia; generar el interés estudiantil para que crezca el número que ingresa a carreras científicas; promover la educación científica globalmente, sobre todo en tópicos que se relacionen con la conciencia ambiental.

Una de las opiniones más autorizadas en el aspecto curricular es la de Derek Hodson quien menciona que para construir un currículum de ciencia y tecnología para el siglo XXI, «mi inclinación es dar una mezcla de aspectos locales, regionales/nacionales y globales, así como intereses idiosincráticos personales, enfocados hacia siete áreas» (Hodson, 2009, p. 10): salud humana; recursos de tierra, agua y minerales; comida y agricultura; recursos energéticos y consumo; industria (incluye manufactura, tiempo libre, servicios, biotecnología y otras); transferencia y transporte de información; y responsabilidad ética y social.

Hay que apreciar nuestra riqueza multicultural y rescatar su olvido histórico. La diversidad étnica de la población de América Latina y el Caribe, que es de 580 millones de habitantes en 2007, representa un enorme potencial de desarrollo. Los pueblos indígenas y los afro-descendientes, cuyas poblaciones se estiman alrededor de 58 millones y 174 millones, respectivamente, se encuentran entre los grupos étnicos más desfavorecidos de la región. Desgraciadamente, todavía no ha sido suficientemente reconocida la riqueza que supone para Iberoamérica y para el mundo la diversidad existente de culturas, lenguas, modos de vida y experiencias históricas acumuladas. Existen más de 400 grupos indígenas en América Latina, y quienes vivimos allá somos responsables de proporcionarles un poco del poder intelectual que ofrece el aprendizaje de la ciencia.

Concluyo con una frase sumamente interesante y realista:

Todo lo malo que se dice de la escuela nos oculta el número de niños que se ha salvado de las taras, los prejuicios, la altivez, la ignorancia, la estupidez, la codicia, la inmovilidad o el fatalismo de las familias.

Daniel Pennac (2008)

NOTAS

1. Conferencia Inaugural del VIII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias, Barcelona, 7 de septiembre de 2009.

2. Profesora de Educación «Charles E. Ducommun» de la Universidad de Stanford, EEUU. Fue nombrada en enero de 2007 como una de las diez personas más influyentes en el campo de la educación en la última década en su país.

3. Nano = 10^{-9} o sea, mil millones de veces menor que la unidad. 1 nanómetro es diez veces lo que mide el diámetro de un átomo de hidrógeno: 10^{-10} m = 1 Ångström.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADÚRIZ-BRAVO, A. (2005). *Una introducción a la NdC. La epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.
- ARJONILLA, E. (2001). *Cómo hablar de riesgo. Consideraciones Teóricas*, México: Fundación Mexicana para la Salud.
- CAAMAÑO, A. (2007). Modelizar y contextualizar el currículum de química: un proceso en constante desarrollo. En Izquierdo, M., Caamaño, A. y Quintanilla, M. (Editores). *Investigar en la enseñanza de la química. Nuevos horizontes: contextualizar y modelizar*. (Capítulo 1, pp. 19-39), Barcelona: Dep. de Didàctica de les Matemàtiques i de les Ciències Experimentals, UAB.
- CHAMIZO, J.A. (2006). Los modelos de la química. *Educación Química*, 17(4), pp. 476-482.
- CZERNIAK, CH.M. (2009). Grand Challenges and Great Opportunities in Science Education: Is the Glass Half Full or Half Empty? NARST Presidential Speech, *E-NARST News*, 52(2), pp. 3-8, July 2009.
- DARLING-HAMMOND, L. (2009). Teaching and Learning for the 21st Century. Plenary session #1. NARST-Conference, April, Garden Grove, CA, USA.
- DE LA CHAUSSEE, M.E. (2009). Las estrategias argumentativas en la enseñanza y el aprendizaje de la química, *Educación Química*, 20(2), pp. 132-144.
- DRIVER, R., NEWTON, P. y OSBORNE, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms, *Science Education*, 84(3), pp. 287-312.
- ERDURAN, S. y JIMENEZ-ALEIXANDRE, M.P. (Eds.) (2008). *Argumentation in science education: perspectives from classroom-based research*. Dordrecht: Springer Academic Publishers.
- ERDURAN, S. y DUSCHL, R. (2004). Interdisciplinary Characterization of Models and the Nature of Chemical Knowledge in the Classroom, *Studies in Science Education*, 40, pp. 111-144.
- FEYNMAN, R.P. (1963/1995). *Six easy pieces: Essentials of physics explained by its most brilliant teacher*. Nueva York: Addison-Wesley.
- FLORES-CAMACHO, F., GALLEGOS-CÁZARES, L., GARRITZ, A. y GARCÍA-FRANCO, A. (2007). Incommensurability and Multiple Models: Representations about Structure of Matter in Undergraduate Chemistry Students, *Science Education*, 16(7-8), pp. 775-800.
- GARRITZ, A. (1997). The Painting-Sponging Analogy for Chemical Equilibrium, *Journal of Chemical Education*, 74(5), 544-545.
- GARRITZ, A. (2005). Debate sobre cómo cambiar los textos de química para el siglo XXI, *Educación Química* 16[3], pp. 363-369.
- GARRITZ, A. y TRINIDAD-VELASCO, R. (2006). El conocimiento pedagógico de la estructura corpuscular de la materia, *Educación Química*, 17(extraord), pp. 236-263.
- GARRITZ, A. (2006). NdC e indagación: cuestiones fundamentales para la educación científica del ciudadano. *Revista Iberoamericana de Educación*, 42, pp. 127-152.
- GARRITZ, A., NIETO, E., PADILLA, K., REYES, F. y TRINIDAD, R. (2008). Conocimiento didáctico del contenido en química. Lo que todo profesor debería poseer. *Campo Abierto*, 27(1), pp. 153-177. Publicación de la Facultad de Educación de la Universidad de Extremadura, España.
- GARRITZ, A. (2009). La afectividad en la enseñanza de la ciencia. *Educación Química*, 20(extraord), pp. 212-219.
- GARRITZ, A. (2010). Pedagogical Content Knowledge and the affective domain of Scholarship of Teaching and Learning, *International Journal for the Scholarship of Teaching and Learning*, 4(2), pp. 1-6.
- HADDEN, S. y BALES, B. (1989). *Risk Communication about Chemicals in your Community*. Washington, D.C., USA: Environmental Protection Agency.
- HODSON, D. (2009). Putting Your Money Where Your Mouth Is: Towards an Action-oriented Science Curriculum, *Journal for Activist Science y Technology Education*, 1(1).
- JAEGER, C.C., RENN, O., ROSA, E.A. y WEBLER, T. (2001). *Risk Uncertainty and Rational Action*. Londres: Earthscan Pub.
- JIMÉNEZ, G. y NÚÑEZ, E. (2009). Cooperación on line en entornos virtuales en la enseñanza de la química, *Educación Química*, 20(3), pp. 314-319.
- KLAFKI, W. (1958). *Didaktische Analyse als Kern der Unterrichtsvorbereitung* [Análisis Didáctico como Corazón de la Preparación de Clases]. Basel: Wienheim.
- KULINOWSKI, K. (2003). *Nanotechnology: From «Wow» to «Yuck»?* Rice University.
- LUHMANN, N. (1993). *Risk: a sociological theory*, Nueva York: Aldine de Gruyter.
- MACHADO, A. (1936). *Juan de Mairena. Sentencias, donaires, apuntes y recuerdos de un profesor apócrifo*, Madrid: Espasa-Calpe. Obra originalmente aparecida como artículos en el *Diario de Madrid y El Sol*, La cita es de Buenos Aires: Losada, 1957.
- MAGNUSSON, S., KRAJCIK, J. y BORKO, H. (1999). Nature, sources, and development of the PCK for science teaching, en J. Gess-Newsome, and N. G. Lederman (eds.). *Examining pedagogical content knowledge: the construct and its implications for science education*. Dordrecht: Kluwer.
- MAIA, P.F. y JUSTI, R. (2009). Learning of Chemical Equilibrium through Modelling-based Teaching, *International Journal of Science Education*, 31(5), pp. 603-630.
- MARSH, H.W. y SHAVELSON, R. (1985). Self-concept: Its multifaceted, hierarchical structure. *Educational Psychologist*, 20, pp. 107-123.
- MATTHEWS, M.R. (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual, *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), pp. 255-277.

- MELLADO, V. (2003). Cambio didáctico del profesorado de ciencias experimentales y filosofía de la ciencia, *Enseñanza de las Ciencias*, 31(3), pp. 343-358.
- MONK, M. y OSBORNE, J. (1997). Placing the history and philosophy of science on the curriculum: A model for the development of pedagogy, *Science Education*, 81(4), pp. 405-424.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996). *National Science Education Standards*, Washington, DC: National Academies Press.
- NEWTON, P., DRIVER, R. y OSBORNE, J. (1999). The place of argumentation in the pedagogy of school science, *International Journal of Science Education*, 21(5), pp. 553- 576.
- NIESWANDT, M. (2007). Student Affect and Conceptual Understanding in Learning Chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(7), pp. 908-937.
- OCDE (2007). *Programme for International Student Assessment, PISA 2006. Science competencies for tomorrow's world. Volume I: Analysis*. París: Organisation for Economic Co-Operation and Development.
- OLIVÉ, L. (2007). *La ciencia y la tecnología en la sociedad del conocimiento*, México: Fondo de Cultura Económica.
- ORGILL, M.K. y BODNER, G. (2005). The Role of Analogies in Chemistry Teaching, en Greenbowe, T., Pienta, N. y Cooper, M. (eds.). *Chemists' Guide to Effective Teaching*, pp. 90-105. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education.
- PADILLA, K., PONCE de LEÓN, A.M., REMBADO, F. M. y GARRITZ, A. (2008). Undergraduate Professors' Pedagogical Content Knowledge: The case of «amount of substance», *International Journal of Science Education*, 30(10), pp. 1389-1404.
- PARK, S. y OLIVER, J.S. (2008). Revisiting the Conceptualization of Pedagogical Content Knowledge. *Research in Science Education*, 38, pp. 261-284.
- PENNAC, D. (2008). *Mal de escuela*, Madrid: Mondadori.
- PINTRICH, P.R., MARX, R.W. y BOYLE, R.A. (1993). Beyond cold conceptual change: the role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change, *Review of Educational Research*, 63(2), pp. 167-199.
- RAVILOLO, A. y GARRITZ, A. (2009). Analogies in the teaching of chemical equilibrium: a synthesis/analysis of the literature, *Chemistry Education: Research and Practice*, 10(1), pp. 5-13.
- ROCARD, M., CSERMELY, P., JORDE, D., LENZEN, D., WALLBERG-HENRIKSSON, H. y HEMMO, V. (2007). *Science Education now: a Renewed Pedagogy for the Future of Europe*. Brussels: European Commission, Directorate-General for Research.
- RODRÍGUEZ IBARRA, J.C. (2009). Sociedad de la imaginación, *El País*, 25 abril, pp. 29-30.
- RUDGE, D.W. y HOWE, E.M. (2009). An explicit and reflective approach to the use of history to promote understanding of the nature of science, *Science y Education*, 18(5), pp. 561-580.
- SCHUDSON, M. y SMELSER, N.J. (co-chairs) et al. (2007). *General Education in the 21st Century*, Berkeley: University of California.
- SHULMAN, L.S. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching, *Educational Researcher*, 15(2), pp. 4-14.
- TOULMIN, S. (1958). *The uses of argument*. Nueva York: Cambridge University Press.
- TREAGUST, D.F., y CHITTLEBOROUGH, G.D. (2001). Chemistry: A matter of understanding representations, en Brophy, J. (ed.). *Subject-specific instructional methods and activities* (Advances in research on teaching 8, pp. 239-267. Oxford: Elsevier Science Ltd.
- URZÚA, C. y GARRITZ, A. (2008). Evaluación de competencias en el nivel universitario. *Ideas@CONCYTEG*, 3(39), pp. 138-154. *Revista del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología del Edo de Guanajuato*. URL <<http://octi.guanajuato.gob.mx/gaceta/GacetaIdeas/frmPrincipal.php>>.
- ZEIDLER, D.L., WALKER, K.A., ACKETT, W.A. y SIMMONS, M.L. (2002). Tangled up in views: Beliefs in the nature of science and responses to socio-scientific dilemmas, *Science Education* 86, pp. 343-367.
- ZEIDLER, D.L. (ed., 2003). *The Role of Moral Reasoning on Socio-scientific Issues and Discourse in Science Education*, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- ZEMBYLAS, M. (2007). Emotional ecology: The intersection of emotional knowledge and pedagogical content knowledge in teaching. *Teaching and Teacher Education*, 23, pp. 355-367.

Science education in an uncertain and briskly changing society

GARRITZ, ANDONI

Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México
andoni@unam.mx

Summary

Along history, there have always been times of brisk changes and uncertainty perception, but both had been attributed to superhuman powers or nature forces. Nowadays, what makes its perception so ominous is the conscience of human influence on the future: now we are responsible, by action or omission. Besides, there are characteristics of the new society that makes us to think about the changes we are living today, when what matters for education is intelligence, daring, risk and diversity. We live in the society of imagination and we have to think what the new learning perspectives are.

In this context, an analysis will be made on the following selected set of today's science education paradigms, considered by the author as most relevant. They are presented in alphabetical order:

Affectivity. Learning scientific concepts is more than a cognitive process. Teaching is highly charged with feelings, aroused by and directed towards not just people but also values and ideals. Nevertheless, in educational spaces science is portrayed as a rational, analytical and non-emotive area, denying the crucial importance for learning that the affective domain has.

Analogies. Analogies may be considered a subset of models, since analogical reasoning is the comparison of structures between two fields of knowledge: a well known one and a new or partially new. Thus, analogies make new, abstract information more concrete and easier to imagine by using what the student already knows and is familiar with, and linking it to new, unfamiliar ideas.

Argumentation. The conceptualization of science learning as argumentation has broader goals than just learning scientific contents. It embraces analytical, dialectical, and rhetorical schemes for the evaluation and communication of knowledge and it equips students with practical, pragmatic, moral, and/or theoretical capacities for reasoning about problems and issues.

Competences. The development and maintenance of human resources in terms of skills and competences represent an important factor for sustainable development and social cohesion. It is necessary to set off normative, theoretical, and conceptual foundations for defining and selecting a limited set of key competences.

Information and communication technologies. ICT consist of all technical means used to handle information and aid communication, including computer and network hardware as well as the required software. Contemporary education necessarily has to have an ICT component.

Inquiry. Scientific inquiry refers to the diverse ways in which scientists study the natural world and propose explanations based on the evidence derived from their work, but it also refers to the activities of students in which they develop knowledge and understanding of scientific ideas, as well as an understanding of how scientists study the natural world.

Models and modelling. A model is defined as a simplified representation of an object, event, process, or idea produced for the specific purpose of providing an explanation of that entity. Models and modelling are key features of science and consequently of science education.

Nature of science. Understanding how science works allows us to distinguish science from non-science. Nature of science is a multidisciplinary glimpse to the study of science, essentially from outside the scientific enterprise, which shows us that science has individual, social, and institutional dimensions.

Pedagogical content knowledge. PCK is a type of knowledge that teachers should possess, because they do not only have to know and understand the subject matter knowledge, but also how to teach that specific content effectively. Skilful teachers transform the subject matter into forms that are more accessible to their students, and adapt it to the specific learning context.

Risk. Risk teaching is an important factor in contemporary science education. The reason is that students must understand that decision making in face of a danger involves a damage probability, that is, a risk.

Science and technology at the frontier. The domain of the content is perhaps the main ingredient of an outstanding teacher. Therefore the frontier knowledge is a must for the updating of subject matter.

Socio-Scientific issues. As the 21st century unfolds, it is well recognized: the importance of scientific literacy to include informed decision-making; the ability to analyze, synthesize and evaluate information; dealing with moral reasoning and ethical issues; and understanding connections inherent in socio-scientific issues.

Uncertainty. The following sentence attributed to Richard P. Feynman, which reveals the importance of uncertainty in science and science education: «I have approximate answers and possible beliefs and different degrees of certainty about different things, but I'm not absolutely sure of anything.»