

La enseñanza de la ciencia en una sociedad con incertidumbre y cambios acelerados¹

Andoni Garritz

Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, México

Correo Electrónico: 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 designios de los astros, la voluntad divina, los poderes sobrehumanos o 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 somos los humanos 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 (en orden alfabético): Afectividad; Analogías; Argumentación; Asuntos socio-científicos; Ciencia y tecnología de frontera; Competencias; Conocimiento didáctico del contenido; Globalización; 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

Abstract (Science education in an uncertain and brisk changes society)

Along history, there have always been times of brisk changes and uncertainty perception, but both had been attributed to heavenly body plans, divine will, superhuman powers, or Nature forces. Nowadays, what makes its perception so ominous is the conscience of human influence on the future: now we humans 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 are intelligence, daring, risk and diversity. We live 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 (in alphabetic order): Affectivity; Analogies; Argumentation; Communication and information technologies; Competences; Globalization; 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

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

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, con 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.

Nos dice Richard Buckminster Fuller, inventor del domo geodésico, cómo hacia finales del siglo XIX transitamos por otro periodo de grandes cambios:

Nací en un año extraordinario, 1895, el mismo en que se inventaron los rayos X y lo invisible se hizo visible. Cuando tenía dos años se descubrió el electrón. A los siete, el primer automóvil circuló por las calles de Boston, y a los ocho, los hermanos Wright volaron por el cielo. Lo imposible ocurría cada día, aceleramos a una velocidad tremenda (Snyder, 1980).

Siempre han existido épocas de cambios rápidos con percepción de incertidumbre, pero habían sido atribuidas a los designios de los astros, la voluntad divina, a poderes sobrehumanos o a las fuerzas de la Naturaleza. En la actualidad, es la conciencia de la influencia humana sobre el futuro lo que hace percibirlos tan ominosos. Antes se culpaba al destino de las desgracias, ahora es el género humano el responsable, por acción u omisión.

No obstante, hay varios rasgos de la novísima sociedad que nos obligan a reflexionar²:

- 1) **Los ritmos.** Hasta hace casi un siglo la sociedad avanzaba de forma casi imperceptible. Ahora el proceso de cambio es vertiginoso. Asistimos al proceso de transformación más importante y dinámico de toda la historia de la humanidad.
- 2) **Densidad de información.** El entorno es accesible desde cualquier punto de la Red. Se produce una inversión de la idea de poder. Dice Rodríguez Ibarra (2009), “En un entorno de Red lo pequeño adquiere poder, porque lo pequeño es además abierto. Todo poder ha sido siempre grande y cerrado, pero la Red está creando poderes pequeños, aunque abiertos.”
- 3) **Las distancias.** Las distancias han empezado a desaparecer, significan ahora poco o nada. En Internet no existen centros ni jerarquías basadas en las distancias; éstas comienzan a ser irrelevantes en el nuevo horizonte del desarrollo.
- 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 sino en nanosegundos. Los productos tienen ciclos de vida cada vez más cortos. Por ejemplo, el ciclo de vida de un móvil es de meses.
- 6) **Las diferencias.** Imaginar tiene ahora mucho sentido; innovar radicalmente no es un capricho. Lo importante no es ser eficiente, sino ser diferente y, de ser posible, único.

Mercé Izquierdo (2006) transcribe una frase de Salvador Paniker, similar a aquellas sobre el pensamiento complejo de Edgar Morin: “estamos en la era de la fluidez y del hibridismo, en la cual los territorios científicos son interdisciplinarios, los valores cambian y conviven diversos factores que, si se relacionan,

² Estas ideas fueron expresadas por el ex-presidente de la Comunidad de Extremadura, Juan Carlos Rodríguez Ibarra, en *El País* el 25 de abril de 2009 en un artículo titulado “Sociedad de la imaginación”.

no lo hacen de manera lineal sino cibernética”. ¿Cómo hemos de lograr la formación interdisciplinaria de los educandos en esta sociedad cibernética?

Linda Darling-Hammond³ (2009) habla de cómo las expectativas del aprendizaje están cambiando rápidamente. Hoy, como expectativas 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 auto-administrarse;
- Capacidad para crear, innovar y criticar;
- Aptitud para involucrarse en aprender cosas nuevas, siempre;
- Capacidad para cruzar las fronteras de los especialistas.

Las cita de una ponencia de Chris Wardlaw (2008), quien se desempeñó como “Deputy Secretary of the Education and Manpower Bureau” de Hong Kong entre abril de 2002 y septiembre de 2008. Se menciona que gracias a su desempeño, su evaluación y sus cambios curriculares Hong Kong logró el tercer lugar en la prueba PISA de 2006.

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 en esta “Sociedad de la Imaginación”? ¿Estamos de acuerdo con Wardlaw y Darling-Hammond?

¿Cuáles son los paradigmas de la enseñanza de la ciencia para este siglo?

En esta presentación se debe hacer esta reflexión ante la comunidad iberoamericana de investigadores en Didáctica de la Ciencia. Se van a desarrollar los tópicos cruciales para decidir sobre las nuevas expectativas de aprendizaje en este siglo, que serán denominados “paradigmas de la enseñanza de la ciencia”. Están citados por orden alfabético, porque todos resultan muy importantes y se van a explorar paulatinamente, de uno en uno:

Afectividad.....	4
Analogías	5
Argumentación	7
Aspectos socio-científicos.....	8
Ciencia y tecnología de frontera	9
Competencias	13
Conocimiento didáctico del contenido	14

³ 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, a partir de un estudio producido por el “Editorial Projects in Education Research Center”. Recientemente fue la líder del equipo de política de transición educativa de Barack Obama.

Globalización basada en conocimientos	15
Incertidumbre	16
Indagación	17
Modelos y modelaje.....	18
Naturaleza, historia y filosofía de la ciencia	19
Tecnologías de la Información y la Comunicación	20
Riesgo	21

Afectividad

La enseñanza está altamente cargada de sentimientos, suscitada y dirigida no sólo hacia personas, sino también hacia valores e ideales. En particular, las reacciones afectivas que existen detrás de los practicantes de la enseñanza de la ciencia, tanto en su trabajo como en todo lo que los rodea, logran la identificación de los profesores con su profesión. Es de llamar la atención el olvido, por parte de los investigadores educativos de la ciencia, de la faceta afectiva como una de la que depende crucialmente el aprendizaje. A pesar de la pasión con la cual los profesores han hablado siempre de su trabajo, hay relativamente poca investigación reciente con 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-...), 2000, p. 89. Hobbs Professor of Cognition and Education at the Harvard Graduate School of Education.

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.

Paul R. Pintrich (1953-2003) trabajó en la Escuela de Educación de la Universidad de Michigan, USA. Su artículo de la *cognición caliente* con Ron Marx y Robert Boyle cambió la investigación sobre el cambio conceptual más que ninguna otra publicación, ya que destacó a la motivación como factor determinante:

Cuatro constructos generales motivacionales (las creencias sobre metas, valores, auto-eficacia y control) son sugeridas como mediadores potenciales del proceso de cambio conceptual.

(Pintrich, Marx & Boyle, 1993)

Relacionados con los aspectos afectivos, del lado de la psicología ha surgido un mar de auto-creencias, tales como auto-control, auto-estima, auto-eficacia, auto-regulación, auto-concepto y auto-confianza, por citar sólo unas cuantas. Revisemos a continuación una definición de auto-estima como este “puedo, creo y confío en mí, valgo”:

Definición de autoestima: *Cariño, aprecio y estimación a sí mismo/a. La capacidad (yo puedo) y el sentimiento de confianza (creo y confío en mí), respeto y valoración (yo valgo) que cada persona posee de sí misma.*

Pilar Acevedo, 1999

Los psicólogos educativos han examinado estas auto-creencias o auto-percepciones durante décadas y han concluido que los estudiantes con auto-percepciones 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 pedagógico de los profesores (Garritz, *et al.*, 2008). Tal es el caso del auto-concepto, que ha sido definido históricamente (Marsh & Shavelson, 1985) como “una percepción global de uno mismo, así como las reacciones de autoestima frente a esa auto-percepción”. De esta manera, el auto-concepto describe cómo se desempeñará el estudiante en contextos específicos de aprendizaje, lo cual puede jugar un papel sumamente importante en el entendimiento significativo de los conceptos científicos, una comprensión que vaya más allá de la memorización, hacia la capacidad de explicar los fenómenos de todos los días con el conocimiento científico actual. Cabalmente, debe formar parte del conocimiento didáctico del contenido de los profesores cuando está relacionada con aspectos de la disciplina, como es el caso de fomentar el crecimiento del auto-concepto entre sus estudiantes.

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: *source* o *analogue* en inglés) y un dominio de conocimiento nuevo o parcialmente nuevo (el objetivo: *target* en inglés). Los modelos y el modelaje son aspectos clave de la ciencia y, consecuentemente, de la educación en la ciencia (Treagust & Chittleborough, 2001; Raviolo & Garritz, 2009).

Un ejemplo claro de la validez del uso de analogías en la enseñanza 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 & Bodner, 2005).

Piquette & Heikkinen (2005) identificaron cuatro estrategias de instrucción para un cambio conceptual exitoso, en las que incorporaron explícitamente las cuatro condiciones necesarias establecidas por Posner, *et al.* (1982): la incomodidad con la concepción previa; la plausibilidad; la inteligibilidad y lo fructífero de la nueva concepción. Esas estrategias en el salón de clases, basadas en una búsqueda de la literatura, incluyen el uso de:

- a) grupos cooperativos
- b) textos con refutaciones;
- c) analogías; y
- d) modelos a pasos, tal como el ciclo de aprendizaje.

Treagust & Chittleborough (2001) mencionan que las analogías proporcionan nuevas perspectivas para visualizar y una oportunidad para reorganizar y ligar conocimiento como resultado de un entendimiento relacional, opuesto al aprendizaje memorístico. Igualmente, aunque son estimulantes por ser motivadoras, mencionan las precauciones que hay que tener cuando se enseña con ellas, cuando no se identifica adecuadamente el objetivo y la fuente de la analogía, cuando pueden surgir concepciones alternativas por su aplicación inefectiva. Es recomendable utilizar dos enfoques estratégicos adecuados que intentan evitar estas dificultades: el Enseñando-con-analogías (modelo TWA de Glynn, 1991) y el Foco-Acción-Reflexión (Modelo FAR de Treagust, Harrison & Venville, 1998).

Por ejemplo, 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, su exo o endotermicidad. Caamaño (2007) nos da más ejemplos de diferentes 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. (P. 28)

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

Otras analogías y metáforas presentes en libros de bioquímica son: la del lexicógrafo compilando un diccionario para explicar la labor del biólogo molecular con su éxito en la tecnología recombinante del ADN; o el ATP como las “monedas de energía celular” (Orgill & Bodner, 2006).

Argumentación

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

Argumentar es una operación mental interna que puede o no ser manifestada exteriormente. Consiste en buscar y presentar datos y pruebas para fundamentar, demostrar y hacer creíble algo (conocimientos, problemas, resultados, hechos, fenómenos, contradicciones...). Los usos de la argumentación son diversos. Argumentamos para demostrar o debatir ofreciendo evidencias y razonamientos lo más completos y estructurados posibles 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). En él nos indica que ha tenido lugar:

“un cambio en la manera en que es visto el aprendizaje, lejos de verlo como un proceso confinado a la mente individual, hacia reconocerlo más bien involucrar procesos sociales y culturales... 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 en este siglo. Ellos proporcionan a los estudiantes la oportunidad de involucrarse en una interacción deliberativa acerca de las ideas de la ciencia y a construir una comprensión más profunda y significativa de lo que la ciencia ofrece. En este contexto, un aspecto importante de la vida contemporánea es la siempre creciente gama de elección acoplada con el crecimiento de las tecnologías de la comunicación, tales como los teléfonos móviles y el Internet con acceso a un más amplio intervalo de fuentes de información. Tales tecnologías hacen énfasis en la conectividad sobre la autonomía, los procesos sobre los productos, y los sistemas sobre los detalles; y posibilitan la auto-expresión 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 en día se vuelve un objeto a ser adquirido cómo y cuándo se le necesita a través de la interacción social y dialógica más que mediante la recepción pasiva.

Osborne (2007) nos dice que los cuatro elementos esenciales de cualquier educación científica pueden ser facilitados a través de enfocarse en la argumentación:

- el desarrollo de la comprensión conceptual;
- la mejora del razonamiento cognitivo;
- el incremento de la comprensión de los estudiantes acerca de la naturaleza epistémica de la ciencia, y

- la proporción de una experiencia afectiva que es tanto positiva como atractiva.

Ha venido creciendo y crecerá aún más la práctica de la argumentación en el salón de clase, así como su investigación en los próximos años. Esperamos que surjan más modelos para los análisis, tan exitosos como el patrón de argumentación de Toulmin (1958) u otros más analizados (Jiménez & Díaz, 2003; van Emmeren *et al.*, 1996).

Aspectos socio-científicos

Esta corriente de los aspectos socio-científicos (ASC) y el razonamiento moral está hoy representada primordialmente por Dana Zeidler (2003), un académico de la Universidad del Sur de Florida, en Tampa, Estados Unidos. Hoy se reconoce la importancia de conceptualizar la alfabetización científica al contemplar incluso 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 socio-científicos (Zeidler, Walker, Ackett, & Simmons, 2002). Para el punto de vista del autor, la dimensión Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS) tiene cabida también en esta corriente, aunque el mismo Zeidler ha insistido que la de ASC va más allá (Zeidler, Sadler, Simmons & Howes, 2005).

Millar y Osborne, cuando trazan las líneas de la reforma educativa en el Reino Unido, dan pie para ser clasificados también como líderes de la corriente de ASC:

Para sostener una democracia saludable y vibrante se requiere un público aquiescente, no hostil ni sospechoso, sino uno con un entendimiento amplio de la mayor parte de las ideas científicas que, a la vez que aprecie el valor de la ciencia y su contribución a nuestra cultura pueda vérselas críticamente con aspectos y argumentos que involucren al conocimiento científico...; que aprecien igualmente las fortalezas y límites de la evidencia científica; que sean capaces de hacer una evaluación sensible del riesgo y reconocer las implicaciones éticas y morales de las alternativas que la ciencia ofrece para la acción.

(Millar & Osborne, 1998, p. 2004).

Igualmente, desde 1996 y aunque ello no fue citado como tal explícitamente, esta corriente fue incluida en los estándares de la educación científica estadounidenses:

La ciencia escolar es un reflejo de las tradiciones intelectuales y culturales que caracterizan la práctica de la ciencia contemporánea. Para desarrollar un conocimiento rico de la ciencia y del mundo natural, los estudiantes deben volverse familiares con modalidades de la indagación científica, reglas de la evidencia, formas de formular preguntas y modos de proponer explicaciones. La relación de la ciencia con la matemática y la tecnología, y la comprensión de la naturaleza de la ciencia deben ser también parte de su educación.

(NRC, 1996, p. 21).

Los ciudadanos deberían a ser consultados cada vez con más frecuencia en aspectos que tengan que ver con la participación pública de los afectados. La siguiente frase habla de la representación imperfecta de las instituciones y una manera de remediarla a través de la consulta:

En el siglo XXI los ciudadanos esperan ser consultados habitualmente con el objetivo de atenuar los efectos de una representación imperfecta de las instituciones... La participación directa de los

ciudadanos reviste diversas formas. Si se trata de estimular la participación de los que tienen un interés directo y concreto en una cuestión determinada, la consulta ciudadana es una fórmula ideal.

(Comité de Ministros del Consejo de Europa, 2001)

Con relación al punto sobre “La representación imperfecta de las instituciones”, aunque mucho se ha dicho con relación a la consulta pública, desafortunadamente los resultados recientes han alertado a la Unión Europea de la complicación en la aplicación de las consultas.

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. Por ello resulta primordial que los ciudadanos estén bien informados acerca de los aspectos científicos y técnicos relacionados con estos aspectos de riesgo. Un poco más adelante vamos a tratar alguno de estos asuntos en el apartado de “Ciencia de frontera”.

El tipo de enfoque basado en aspectos socio-científicos reúne cuatro niveles de sofisticación (Hodson, 2009) en los que las concepciones de los estudiantes van prosperando desde:

- Nivel 1: Apreciar el impacto social del cambio científico y tecnológico y reconocer que ciencia y tecnología son, substancialmente, determinadas culturalmente;
- Nivel 2: Reconocer que las decisiones sobre el desarrollo científico y tecnológico son tomadas en virtud de intereses particulares y los beneficios que se acumulan para algunos ocurren a expensas de otros. Reconocer que el desarrollo científico y tecnológico está inextricablemente ligado con la distribución de la riqueza y el poder;
- Nivel 3: Desarrollar las visiones propias de uno mismo y establecer las posiciones propias sobre valores. Volverse comprometido en la lucha para establecer prácticas sociales más justas y ambientalmente sustentables; hasta
- Nivel 4: Prepararse para y tomar acción sobre aspectos socio-científicos y ambientales. Adquirir conocimiento y habilidades para intervenir efectivamente en procesos de toma de decisiones, con tal de asegurar que voces alternativas, con sus intereses y valores subyacentes sean traídas hacia la arena de las decisiones de política.

Pensamos que el estudiante debe irse respondiendo paulatinamente, conforma avanza en estos cuatro niveles, preguntas cada vez más complejas, como las siguientes: ¿Quiénes son los involucrados? ¿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 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 debe saber un profesor o profesora para dar una buena clase. En particular, los conocimientos de frontera habrán de jugar un papel muy importante. Damos algunos ejemplos concretos (por orden alfabético también) que no pueden olvidarse para la enseñanza de la ciencia en los diversos niveles de enseñanza:

Adelgazamiento de la capa de ozono. Mario Molina y Sherwood Rowland (1974) fueron capaces de proponer en 1974 la detección de 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. El fenómeno fue ratificado en 1992 cuando se analizaron los resultados de concentraciones de ozono, expresados en unidades Dobson, entre 1980 y 1989. Igualmente pudieron revelar desde el mismo 1974 sus causas como la emisión de gases propulsores y refrigerantes producidos sobre la superficie de la Tierra, cuestiones confirmadas y explicadas por Molina y su esposa Luisa (Molina *et al.*, 1990). Ambos recibieron el Premio Nobel de Química en 1995.

Alimentos genéticamente modificados. Hasta muy recientemente empieza a surgir evidencia contundente 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 (como es el caso del maíz; Piñeyro *et al.*, 2009).

Calentamiento global. El 5 de abril de 2009 se informó, como claro avance del calentamiento global del planeta, que se rompió el puente de hielo que unía la placa Wilkins a la Antártida. Cada día hay menos duda del origen antropocéntrico del calentamiento y por lo tanto de la mayor probabilidad de fenómenos meteorológicos catastróficos, como el huracán Katrina sobre Nueva Orleans, la creciente desertificación, la elevación del nivel del mar, y muchas otras amenazas.

Un gran reto para los químicos y los tecnólogos de hoy es ¿cómo lograr que el CO₂ atmosférico sea recapturado en una fase condensada? (McCoy & Johnson, 2009). Un estudio desarrollado en China, Europa y Estados Unidos revela que un 18% del dióxido de carbono inyectado al subsuelo se almacena en forma de carbonatos y el resto queda disuelto en el agua profunda.

El cambio climático es quizás la consecuencia global más grave de la inequidad medioambiental, al ser provocado por las emisiones que han beneficiado a personas y sociedades ricas y perjudicado mayormente a las más pobres, siendo los países en desarrollo y sus ciudadanos más pobres los más vulnerables (ONU, 2009, p. 11).

Las amenazas de índole meteorológica tienen una importancia crucial en la configuración de los patrones de riesgos globales. Dos de las bases de datos globales más destacadas sobre pérdidas por desastres coinciden en que más de dos tercios de la mortalidad y pérdidas económicas por desastres documentados a nivel internacional están relacionados con amenazas meteorológicas, climatológicas e hidrológicas. El IPCC ha confirmado que la distribución geográfica, frecuencia e intensidad de estas amenazas ya están sufriendo alteraciones de consideración a causa del cambio climático. Están apareciendo ya cambios en volumen, intensidad, frecuencia y tipo de las precipitaciones. Estos cambios llevan asociados un incremento en la extensión de zonas afectadas por sequías, el número de eventos de fuertes precipitaciones diarias que provocan inundaciones y la intensidad y duración de ciertos tipos de tormentas tropicales (ONU, 2009, p. 21).

Conciencia. Es un rompecabezas para las ciencias cognitivas y para el trabajo de los neurobiólogos reconocer el fluir de la conciencia y los procesos de conducta que integran el comportamiento expresivo. El cerebro, en analogía con la máquina de Turing, es un órgano especializado en manejar información mediante la representación de un conjunto de símbolos. La conciencia surge como un aspecto subjetivo muy complejo del procesamiento cerebral, que se puede concebir como “conectividad dinámica intermodular” (Díaz, 2007). Este proceso complejo de conectividad cerebral se equipara al comportamiento de parvas y enjambres para cumplir con varios requisitos que se han establecido para cualquier *correlato* cerebral de la conciencia, en particular la disposición global de la información,

con la ventaja adicional que el proceso postulado se sitúa en la convergencia necesaria entre los sistemas neurobiológicos y culturales que causan y constituyen a la conciencia.

Cosmos. El telescopio Hubble nos ha permitido desde abril de 1990 mirar con acercamiento a múltiples fenómenos antes no registrados y verificado muchas hipótesis previas, tales como los hoyos negros o los planetas existentes que giran alrededor de otras estrellas. Más de 6000 artículos científicos han sido publicados basados en los datos del Hubble.

Energías renovables. Este título significa energía obtenida 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, además de consumir 10% menos de gasolina y diesel para el transporte, sustituyéndolos por biocombustibles (UE, 2009).

A nivel mundial, en los cuatro años que van del final de 2004 al final de 2008: la capacidad de energía solar fotovoltaica creció seis veces, hasta alcanzar 16 GW; la capacidad de potencia eólica se levantó dos veces y media, a 121 GW; la capacidad de energía solar por calentamiento se dobló hasta 145 GW; mientras tanto la producción de biodiesel se incrementó doce veces a 12×10^9 litros/año y la producción de etanol se dobló hasta alcanzar 67×10^9 litros/año (REN21, 2009). La inversión total en la capacidad de renovables creció en 2008 hasta 120 mil millones de dólares, siendo en 2007 de 104 y en 2006 de 63. Los cinco países con mayor inversión en 2008 fueron, en ese orden: Estados Unidos, España, China, Alemania y Brasil.

Enfermedad de Alzheimer. 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. Estas placas y marañas alteran las funciones cognitivas en un 10% de los individuos con edad de 65 años (y casi 40% para los de 85) y reducen la actividad de neurotransmisores entre 30 y 70% (Mencacci & Cerveri, 2008). 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). La computadora también es una aliada en estos estudios. El aminoácido metionina se ha asociado al desarrollo del mal de Alzheimer. Se ha informado que eliminar la Met35 de la proteína β -amiloide o sustituirla por otro aminoácido de longitud similar (como por ejemplo la norleucina) inhibe la formación de agregados del péptido β -amiloide y por tanto su neurotoxicidad. Gracias a métodos modernos de funcionales de la densidad se ha verificado que el azufre de la metionina es muy reactivo con radicales libres, como el $\text{OH}\bullet$, lo cual ha corroborado que la formación de las placas se debe a la oxidación de la β -amiloide por la presencia de radicales libres, con lo cual se ha verificado la bondad de medicinas que actúen como antioxidantes (Francisco & Galano, 2009).

Genética: ¿hacia dónde vamos? En febrero de 2001 se anunció en las revistas *Science* y *Nature* acerca de la obtención del primer borrador de la secuencia del genoma humano. Algunos de los Retos en Medicina Genómica consisten en identificar:

- Individuos sanos con alto riesgo de padecer alguna enfermedad;
- Pacientes en alto de riesgo de presentar complicaciones severas (eg. daño renal en diabéticos);
- Pacientes en riesgo de presentar una reacción adversa a medicamentos (potencialmente letal);

- 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:

- obtener energía limpia y barata;
- atender la demanda de agua potable;
- reducir la polución ambiental;
- incrementar la potencia computacional;
- atender el hambre mundial;
- proporcionar seguridad y
- encontrar curas para diversas enfermedades, como el cáncer.

El campo de la nanotecnología⁴ pudiera enfrentar todos estos retos en unos pocos años (Kulinowski, 2003). La ciencia y la nanotecnología actúan de forma multidisciplinaria para obtener los nanoproducidos que se obtienen cada día. 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 las propiedades de la materia de una forma radical.

Origen de la vida. Éste es un tema en el que todavía los científicos van a pasar un buen tiempo en dilucidar. El problema hoy es decidir 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. ¿Y cómo se reunieron todos esos compuestos dentro de la membrana? Científicos tan eminentes como Francis Crick han sugerido que quizás la vida llegó a la Tierra después de haber sido creada en otra parte. No obstante, ha habido cuatro aportes recientes sobre este tema (The NYT, 2009):

1. *Las protocélulas de Jack Szostak.* Szostak, Bartel & Luigi (2001) publicaron un primer trabajo en *Nature* en donde proponen que debieron formarse en paralelo tanto la protocélula como su sistema genético. El resultado sería un sistema vivo, el cual definieron como “un sistema sostenible, de replicación autónoma y capaz de la evolución darwiniana”.
2. *Autoreplicación de ARN.* Gerald F. Joyce acaba de publicar en *Science* a principios de 2009 que ha desarrollado dos tipos de moléculas de ARN que pueden promover la síntesis una de la otra a partir de cuatro nucleótidos de ARN (Lincoln & Joyce, 2009).
3. *Síntesis de nucleótidos.* Powner, Gerland & Sutherland (2009), químicos de la Universidad de Manchester, Inglaterra, han informado en *Nature* su descubrimiento de una ruta inesperada de sintetizar nucleótidos, en la cual en lugar de obtener separados sus elementos, se obtiene el nucleótido directamente.
4. *Explicación de lateralidad.* Muchos compuestos químicos existen en una de dos formas simétricas por el reflejo del espejo, como las manos izquierda y derecha. En una célula viva todos los aminoácidos son de mano izquierda y todos los azúcares y nucleótidos son de mano derecha. Los químicos del Imperial College de Londres dirigidos por Donna Blackmond han encontrado una manera fácil de convertir una mezcla de moléculas de ambas manos en una de las formas por ciclos de fundir y congelar (Klussmann *et al.*, 2006).

⁴ 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.

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 & 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” derive de ambos verbos.

Entre los griegos, *competencias* fue “*agon*”, de donde vienen las palabras “*agonistas*” y “*agónico*”. Entre ellos significó un proyecto de vida en el que la excelencia, en todos los órdenes, tenía significado (Pérez Miranda *et al.*, 2004).

En el estudio PISA 2006 “Subescala: *Identificar temas científicos*” (OCDE, 2007) se estudia la capacidad de reconocer preguntas o temas susceptibles de ser investigados científicamente, identificar términos clave para la búsqueda de información científica, así como de identificar 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.

El Nivel 6 es el máximo, descrito por la siguiente característica: “Los estudiantes pueden consistentemente identificar, explicar y aplicar el conocimiento científico y conocimiento sobre la ciencia en una variedad de situaciones complejas de la vida real. Relacionan distintas fuentes de información y explicación, y hacen uso de evidencias a partir de esas fuentes para justificar sus decisiones.”. Dentro de los países Iberoamericanos, en este estudio España y Portugal son calificados en promedio dentro del nivel 3 de 6: “Los estudiantes pueden identificar claramente los temas científicos descritos en una variedad de contextos. Pueden seleccionar hechos y conocimientos para explicar fenómenos, y también pueden aplicar modelos simples o estrategias de investigación. Interpretan y usan conceptos científicos de diferentes disciplinas y los pueden aplicar directamente. Son capaces de desarrollar oraciones cortas utilizando hechos, y tomar decisiones basadas en el conocimiento científico.”. Para Latinoamérica son los niveles 1 y 2. México, Chile y Uruguay en promedio en el nivel 2: “Los estudiantes tienen un conocimiento científico adecuado para proporcionar posibles explicaciones en contextos familiares, o pueden llegar a conclusiones basadas en investigaciones simples. Tienen un razonamiento directo y llegan a interpretaciones literales de los resultados de una investigación científica o de la solución tecnológica de un problema.”; y Colombia, Brasil y Argentina en promedio en el 1: “Los estudiantes tienen un conocimiento científico limitado que sólo es aplicable a pocas situaciones familiares. Dan explicaciones científicas obvias que se obtienen directamente de la evidencia dada.”.

De este estudio podemos ver los resultados para los países iberoamericanos con sus estudiantes categorizados de los niveles 1 a 5 en la ilustración 1.

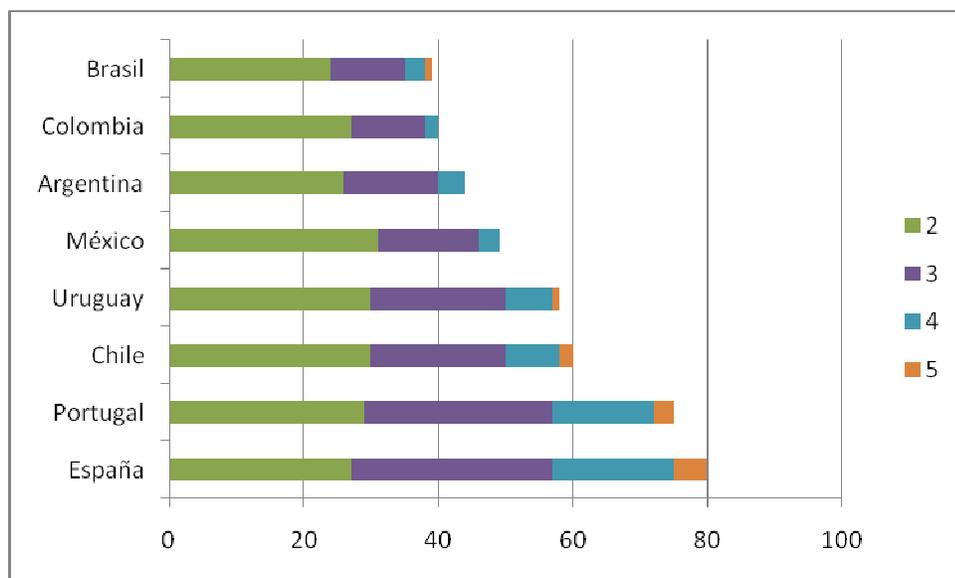


Ilustración 1. Los datos corresponden a porcentajes de alumnos en cada uno de los niveles y los países están ordenados según la suma de los porcentajes de los niveles 2 a 5. Vemos que en España solamente un 20% de los alumnos están en los niveles 0 y 1, mientras que ese mismo dato para Brasil es el 61%.

Conocimiento didáctico del contenido

Ha habido autores como Klafki (1958) que 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 del tema. No obstante, es Shulman (1986) a quien se refieren las investigaciones recientes sobre el concepto acuñado por él como “Pedagogical Content Knowledge”, el que ha derivado en España como conocimiento didáctico del contenido (CDC) y que el autor de este artículo llama Conocimiento pedagógico del contenido (Garritz & Trinidad, 2006), aunque en tierras españolas se ajusta al CDC (Garritz *et al.*, 2008).

En el CDC se incluye, para los tópicos más regularmente enseñados en el área temática del profesor, lo que lo habilita para responder a preguntas tales como: “¿Qué analogías, metáforas, ejemplos, símiles, demostraciones, simulaciones, manipulaciones, o similares, son las formas más efectivas para comunicar los entendimientos apropiados o las actitudes de este tópico a estudiantes con antecedentes particulares?” (Shulman & Sykes, 1986, p. 9). Así mismo, también incluye un entendimiento de lo que hace fácil o difícil el aprendizaje de tópicos específicos: “Las concepciones y preconcepciones que los estudiantes de diferentes edades y antecedentes traen al aprendizaje de los tópicos y lecciones más frecuentemente enseñados” (Shulman, 1986, p. 9). Adicionalmente, los profesores necesitan el conocimiento de las estrategias más probables de ser fructíferas en la reorganización del entendimiento de los aprendices y en la evaluación del mismo.

Por todo esto Magnusson, Krajcic y Borko (1999) han insistido en los siguientes cinco elementos del CDC:

1. Visión y propósito de la enseñanza de la ciencia;
2. Conocimiento y creencias sobre el currículo de ciencia;
3. Conocimiento y creencias acerca del entendimiento estudiantil sobre tópicos específicos de ciencia;

4. Conocimiento y creencias sobre estrategias de instrucción para enseñar ciencia;
5. Conocimiento y creencias sobre evaluación en ciencia.

Basta 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 alargada hasta el tamaño de la Tierra, entonces sus átomos alcanzarían aproximadamente el tamaño de la manzana original”. ¿Existe una mejor manera de enseñar qué tan 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 CDCs apropiados para cada tema, vamos a ver pasar diversos de ellos por la literatura. El *International Journal of Science Education* acaba de sacar hace un año (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 & Garritz, 2008), con la aplicación del perfil conceptual de Eduardo Mortimer como una forma de categorizar el CDC.

Globalización basada en conocimientos

“El blanco es establecer una sociedad-basada-conocimiento. Ésta es una sociedad en la que las actividades y las decisiones en todos los dominios de la vida se basan en conocimientos; en la que la investigación, enfocada en el descubrimiento, adquisición, utilización y diseminación de conocimientos está en armonía con la educación; en la que investigación y educación son los apuntalamientos de un sistema nacional de innovación que provee las bases para el crecimiento económico”.

(Jessop, 2008)

Hay una multitud de acepciones para el término ‘Globalización’. Globalización es un término que se usa en muchos sentidos diferentes. Se le emplea, por ejemplo, para referirse a las redes telemáticas e informáticas que permiten el instantáneo flujo planetario de información y de capitales, así como de comunicaciones físicas que incrementan el intercambio de mercancías y la interdependencia de las economías y las culturas de casi todo el globo terráqueo. Sin embargo, en otras ocasiones se le utiliza como una nueva etapa del capitalismo, en verdad global, que dio lugar a relaciones sociales profundamente injustas y que tuvo como consecuencia la exclusión de millones de seres humanos de los beneficios de la riqueza (Olivé, 2007).

La globalización tiene impactos importantes sobre la ciencia. Pocos de los estudios hechos sobre la globalización y sus relaciones con la ciencia, la sitúan dentro de la emergencia global de los contratos económicos y socio-políticos entre la ciencia, el estado-nación y los intereses comerciales privados. El globalismo, como un *etos* empresarial de la globalización, ha extendido el formato empresarial a las instituciones y procesos de la ciencia, privilegiando grandemente la producción de mercancías comercializadas sobre otros asuntos (Carter, 2008).

Debemos estar preparados para enseñar democracia. La siguiente cita se burla del concepto de ‘capital humano’, como ha sido denominado por algunos grupos de economistas neo-liberales: “Nuestro papel en la educación no es preparar estudiantes para una realidad económica diseñada por otros, sino prepararlos para encarar la realidad social con modos más progresivos y socialmente justos. Nuestra misión ciudadana debe enseñar a los estudiantes lo que es posible, en lugar de objetivarlos como

‘capital humano’ preparado para el impacto inevitable de las políticas implementadas para proteger los intereses de la elite económica” (Hyslop-Margison & Thayer, 2009).

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. Virtualmente todas las ramas de la ciencia, la ingeniería, la economía, así como otros campos, analizan y se refieren al caos. Formalmente, “el caos es la evolución sostenida que parece desordenada en el largo plazo, que satisface ciertos criterios matemáticos especiales y que ocurre en un sistema no lineal determinista” (Williams, 1997). La revelación de que un comportamiento complejo y desorganizado pueda provenir de una ecuación elemental determinista fue una sorpresa para muchos científicos. De esta manera lo porvenir queda abierto e impredecible. Vamos a entrar a este tema con varias citas textuales de un científico americano —Richard Feynman— un filósofo 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, 1981).

La ciencia no es un sistema de aseveraciones ciertas que avanza uniformemente hacia un estado de irrevocabilidad. 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. El viejo ideal científico del *epistēmē*, del conocimiento absolutamente cierto y demostrable, ha resultado ser un ídolo. La exigencia de objetividad científica hace inevitable que cada aseveración científica deba permanecer por siempre *provisional*. Efectivamente, puede ser corroborada pero cada corroboración es relativa con relación a otras aseveraciones las cuales, a su vez, son provisionales. Solamente en nuestras experiencias subjetivas de convicción, en nuestra fe subjetiva, podemos estar “absolutamente seguros”.... esta visión de la ciencia se traiciona a sí misma en su avidez por acertar; ya que lo que hace al científico no es su *posesión* del conocimiento, de la verdad irrefutable, sino su *búsqueda* persistente y temerariamente crítica de la verdad.

Popper (1934)

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 [...] Repitémoslo una vez más: el conocimiento es navegar en un océano de incertidumbres a través de archipiélagos de certezas.

Una nueva conciencia empieza a surgir: el hombre, enfrentado a las incertidumbres por todos los lados, es arrastrado hacia una nueva aventura. Hay que aprender a enfrentar las incertidumbres

puesto que vivimos en una época cambiante donde los valores son ambivalentes, donde todo está ligado. Es por eso que la educación del futuro debe volverse sobre las incertidumbres ligadas al conocimiento [...] las incertidumbres que han aparecido en las ciencias físicas [...], en las ciencias de la evolución biológica y en las ciencias históricas.

(Morin, 1999)

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, 1936)

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.

Si en otras épocas los métodos dominantes para combatir la ignorancia consistían en eliminarla, los planteamientos actuales asumen que hay una dimensión irreductible en la ignorancia, por lo que debemos entenderla, tolerarla e incluso servirnos de ella y considerarla un recurso. La sociedad del conocimiento se puede caracterizar precisamente como una sociedad que ha de aprender a gestionar ese desconocimiento.

(Innerarity, 2008)

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 principal-mente 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; pro-poner respuestas, explicaciones y predicciones; y comunicar los resultados" (NRC, 1996, p. 23).

En los mismos estándares se mencionan las seis habilidades para indagar:

1. Identificar preguntas y conceptos que guíen las investigaciones;
2. Diseñar y conducir investigaciones científicas;

3. Utilizar las tecnologías más apropiadas y la matemática para mejorar las investigaciones y su comunicación;
4. Formular y revisar las explicaciones y modelos científicos mediante el empleo de la lógica y la evidencia;
5. Reconocer y analizar explicaciones y modelos alternativos;
6. Comunicar y defender un argumento científico

Muy similares estas habilidades a las que ha sugerido Daniel Gil desde hace tiempo en su metodología de investigar como enseñanza (Gil, 1983; Gil & Martínez Torregrosa, 1983).

También Joseph Schwab fue una voz influyente en el establecimiento de esta visión de la educación científica en la década de 1960. Este educador arguyó que la ciencia debía verse como estructuras conceptuales que fueran frecuentemente revisadas como resultado de nuevas evidencias. Su visión sugirió que los profesores debían presentar la ciencia como un proceso de indagación; y que los estudiantes debían emplear la indagación para aprender los temas de la ciencia. Para lograr estos cambios, Schwab recomendó que los profesores de ciencia utilizaran primero el laboratorio y usaran estas experiencias, 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 ayudan a los científicos y los ingenieros a comprender cómo funcionan las cosas. 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 modelos y modelaje, 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 & Justi, 2009).

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

1. Son representaciones
2. Son instrumentos
3. Son analogías con la realidad
4. Son diferentes de la realidad
5. Se construyen
6. Se desarrollan de manera iterativa a lo largo de la historia
7. Deben ser aceptados por la comunidad científica
8. Pueden ser de dos tipos: icónicos y conceptuales

Luego, en otra obra (Chamizo & García Franco, en prensa), no los definen como:

Los modelos (m) son representaciones, basadas generalmente en analogías, que se construyen al contextualizar cierta porción del mundo (M) con un objetivo específico.

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 entre dos o más modelos rivales encajan con la evidencia disponible y por lo tanto cual 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).

Su uso es necesario para interpretar los hechos e imaginar los procesos nanoscópicos subyacentes al mundo material macroscópico. Los modelos teóricos están enmarcados en teorías de los que son instrumentos explicativos con diferentes grados de complejidad. 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., son ejemplos de diferentes modelos que deben ser construidos en un curso de química (Caamaño, 2007, p. 28).

Naturaleza, historia y filosofía 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 (Adúriz, 2005a). Este conocimiento se ha dado en llamar Naturaleza de la Ciencia (NdC).

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, como 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).

Dado que tiene que ver con las cuestiones de incertidumbre en la ciencia, colocamos ahora un conjunto de diez cuestiones que son de consenso, según Niaz (2005), y que reflejan una posición contemporánea sobre filosofía de la ciencia.

1. Las teorías científicas son tentativas.
2. Las teorías no se convierten en leyes aún con evidencia empírica adicional.
3. Toda observación está impregnada de una teoría.
4. La ciencia es objetiva, sólo en cierto contexto del desarrollo científico.
5. La objetividad en las ciencias proviene de un proceso social de validación competitivo, por la evaluación crítica de los pares.
6. La ciencia no se caracteriza por su objetividad, sino por su carácter progresivo ----cambios progresivos de problemática.
7. El progreso científico está caracterizado por conflictos, competencias, inconsistencias y controversias entre teorías rivales.
8. Los científicos pueden interpretar los mismos datos experimentales en más de una forma.
9. Muchas de las leyes científicas son irrelevantes y en el mejor de los casos son idealizaciones.

10. No hay un método científico universal que indique los pasos a seguir.

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):

1. Humanizar las ciencias y acercarlas más a los intereses personales, éticos, culturales y políticos;
2. Hacer las clases más estimulantes y reflexivas, incrementando así las capacidades del pensamiento crítico;
3. Contribuir a una comprensión mayor de los contenidos científicos;
4. 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;
5. 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. Nos dice que la filosofía de las ciencias estuvo prácticamente ausente, pero a partir de la década de los noventa, muchos trabajos consideran imprescindible incluir una reflexión sobre la naturaleza de la ciencia tanto en los programas de enseñanza de las ciencias como en la formación del profesorado.

El papel primordial de la historia en la enseñanza de la naturaleza de la ciencia fue primero encarado por Monk & Osborne (1997), cuando mencionan a los maestros “que aquellos que olviden la historia están condenados a repetirla”. Su propuesta fue la de incorporar la historia en el contexto real cuando ocurrieron los hechos. Por dar un ejemplo, mencionan que la mayoría de los libros hablan de Fleming, descubridor de la penicilina, como un científico brillante que tuvo un logro exitoso en la lucha contra la infección, cuando en realidad se trató de un suceso fortuito, debido al extraño frío de finales de julio de 1928 que permitió que creciera el moho y la presencia de un laboratorio contiguo que estudiaba mohos. La aplicación de la penicilina tuvo que esperar diez años cuando otros investigadores exploraron la manera de producir el moho comercialmente. Rudge & 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 (2005b) ha reunido una serie de recomendaciones prácticas para abordar el tema de la Naturaleza de la Ciencia en el aula básica. Finalmente, por parte del autor de este trabajo, se ha contribuido a estructurar la relación entre el concepto kuhniano de incomensurabilidad y los modelos múltiples de aprendizaje de los estudiantes universitarios de química (Flores, Gallegos, Garritz y García-Franco, 2007).

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 (TICs) 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 la 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.

La Comisión Económica Para América Latina (Sunkel, 2006) ha propuesto tres puntos importantes para que los países de la región accedan a las TICs. Un primer punto es reconocer que *la educación constituye un área estratégica para la reducción de la brecha digital*. En el 2002 la proporción de hogares británicos que disponía al menos de un computador en el hogar era de 81% y 68% tenía acceso a Internet. Ello contrasta marcadamente con lo que ocurre en América Latina donde Uruguay encabeza la lista con 17%.

Un segundo punto es que *el uso de los sistemas de educación formal para democratizar el acceso a las TIC requiere de políticas públicas*. La existencia de una política nacional sobre las TIC en educación y de un programa público de informática educativa revela en qué medida existe compromiso y apoyo de las autoridades educacionales respecto al uso de las TIC en la educación.

Un tercer punto es considerar que *el proceso de informatización de las escuelas se encuentra en distintos “momentos” de desarrollo*. Costa Rica, Chile, Brasil y México, países recogidos en este estudio, se ubican preferentemente en la etapa de *integración*.

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. Como ciudadanos requerimos de un conocimiento más complejo de otras culturas conforme el flujo de ideas, capital, bienes y personas crece continuamente.

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

El problema no se puede reducir tan solo 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.

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 & 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.”

La del siglo XXI es la sociedad del riesgo

Esto se basa en la evaluación de que somos testigos visuales —como sujetos y objetos— de una ruptura con la modernidad, la cual se libera del contorno de una sociedad industrial clásica y se

forja una nueva forma –la ‘sociedad de riesgo’ (industrial)... La lógica del reparto de la riqueza que primaba en la sociedad industrial de clases es desplazada al dar lugar, en la modernidad desarrollada, a la lógica del reparto de los riesgos.

(Beck, 1992, p. 9; p. 25)

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).

La sociedad del riesgo ¿Es la sociedad del pánico? En una portada del *Time* de mayo 29 de 2003 una mujer está hablando por su móvil, y dice “Susi, estoy tan preocupada... ¿Éste teléfono móvil está friendo mi cerebro? ¿La comida genéticamente modificada está deformando mi ADN? ¿Es mi cuerpo un vertedero de basura tóxica?”. En un mundo que ya no se basa en certezas tradicionales, lo más riesgoso puede ser la incapacidad de tomar decisiones. Y los medios no ayudan a tranquilizar a la población, sino que nos alarman cotidianamente, en lugar de alertarnos, únicamente.

Riesgo es la probabilidad de daño por la decisión que se toma frente a un peligro para ganar algo o 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 (ONU, 2009).

Un ejemplo de estas definiciones que nos llevará a su empleo propio:

Existe la posibilidad (riesgo)
de que personas que consumen en forma excesiva (vulnerabilidad)
alcohol (peligro)
desarrollen cirrosis hepática (daño).

Jonathan Osborne (2004) al dar la charla inaugural de los cursos en el Imperial College en Londres destacó la importancia de la enseñanza del riesgo. Puso las once causas de muerte a los 40 años ordenadas alfabéticamente (en lugar de por su orden de probabilidades, como están en la tabla 1) y pidió a la audiencia (todos jóvenes ingresando a las licenciaturas y posgrados de la institución) que las ordenara por su probabilidad de ocurrencia. Los datos deben ser de la Gran Bretaña, pero no lo dice explícitamente. Luego les mostró las probabilidades reales. Por supuesto el resultado que aportó cada estudiante es notablemente diferente al de la tabla.

Tabla 1. Causas de muerte a los 40 años, ordenadas por su probabilidad.

CAUSAS DE MUERTE a los 40 años	ORDEN	PROBABILIDAD
Fumar 10 cigarrillos al día	1	1 de 200
Todas las causas naturales	2	1 en 850
Influenza estacional	3	1 en 5 000
Un accidente en la carretera	4	1 en 8 000

Leucemia	5	1 en 12 500
Jugar al fútbol	6	1 en 25 000
Un accidente en la casa	7	1 en 43 500
Radiación/Industria nuclear	8	1 en 57 000
Homicidio	9	1 en 100 000
Un accidente en el tren	10	1 en 500 000
Ser tocado por un rayo	11	1 en 10 000 000

Los estudios de percepción de riesgo nos indican que el riesgo es una noción construida socialmente, variable de un tiempo y lugar a otro tiempo y otro lugar (Le Breton, 1995). La disposición a tomar riesgos, a evitarlos o a ignorarlos por completo no es privativa de una clase socioeconómica ni de una cultura, pero la jerarquía de los mismos difiere un poco de un grupo social 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 2 muestra una clasificación propuesta por Hadden y Bales (1989), modificada por Arjonilla (2001).

Tabla 2. 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)

No cabe duda que tenemos mucho que aprender y que enseñar acerca del riesgo.

Cierre

El tema central de la conferencia internacional 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 en este foro:

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** (Ésta es una recomendación para el desarrollo de investigaciones que contempla cuidar, por ejemplo, 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 con precisión el aprendizaje o las actitudes hacia la ciencia, 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 búsqueda de métodos educativos que se empleen con éxito en las aulas);
7. **Investigación sobre las políticas** (Conducir investigaciones sobre las políticas, y cerrar la desconexión entre los tomadores de decisiones y los investigadores);
8. **Mejoramiento de la preparación de profesores** (Proporcionar a los candidatos a ser profesores de 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;
- Responsabilidad ética y social (i.e. libertad y control en ciencia y tecnología).

Todos los aspectos mencionados como ciencia de frontera en este trabajo tienen a uno de estos temas como centrales.

Hay que apreciar nuestra riqueza multicultural y rescatar su olvido histórico. La diversidad étnica de la población de América Latina y el Caribe, que cuenta con casi 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 somos responsables de proporcionarles un poco del poder intelectual que ofrece el aprendizaje de la ciencia. De acuerdo a datos censales, Bolivia es el país con mayor proporción indígena –66%. En el otro extremo, Brasil registró un 0.4% en el censo – aunque su población afro-descendiente resulta ser 45% de la población total. En términos absolutos, México es el país con un mayor volumen de población indígena, seguido de Bolivia y Guatemala (OEI, 2008). En América Latina un 38.5 % de la población es pobre. Eran 205 millones de personas en 2006. Quienes vivimos por allá tenemos que transmitir la libertad que provee el conocimiento científico a todos estos indígenas en nuestra Latinoamérica.

Concluyo con un par de frases:

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)

Ante esta realidad sobrecogedora que a través de todo el tiempo humano debió de parecer una utopía, los inventores de fábulas que todo lo creemos nos sentimos con el derecho de creer que todavía no es demasiado tarde para emprender la creación de la utopía contraria.

Una nueva y arrasadora utopía de la vida, donde nadie pueda decidir por otros hasta la forma de morir, donde de veras sea cierto el amor y sea posible la felicidad, y donde las estirpes condenadas a cien años de soledad tengan por fin y para siempre una segunda oportunidad sobre la tierra.

Gabriel García Márquez.

La soledad de América Latina.

Discurso ante la Academia por la concesión del Premio Nobel.

Referencias

ACEVEDO, P. (1999) *Autoestima: antología sobre sexualidad*. México: Secretaría de Educación Pública. Citada en Arjonilla, Elia Consideraciones teóricas, en *¿Cómo hablar de riesgo?*, México: Fundación Mexicana para la Salud, 2002.

ADÚRIZ-BRAVO, A. (2005a). ¿Qué naturaleza de la ciencia hemos de saber los profesores de Ciencias? Una cuestión actual de la investigación didáctica. *Tecné, Episteme y Didaxis*, número extraordinario, 23-33.

ADÚRIZ-BRAVO, Agustín (2005b). *Una introducción a la naturaleza de la ciencia. La epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.

ARJONILLA, Elia (2001). *Cómo hablar de riesgo. Consideraciones Teóricas*, México: Fundación Mexicana para la Salud.

BECK, Ulrich (1992). *Risk society. Towards a new Modernity*, London: SAGE publications. Publicado originalmente por Verlag en Frankfurt en 1986 como *Risikogesellschaft: Auf dem Weg in eine andere Moderne*.

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: Departament de Didàctica de les Matemàtiques i de les Ciències Experimentals.

CARTER, L. (2008). Globalization and Science Education: The Implications of Science in the New Economy, *Journal of Research in Science Teaching*, 45(5), 617-633.

CHAMIZO, J. A. (2006). Los modelos de la química. *Educación Química*, 17(4), 476-482.

CHAMIZO, José Antonio & GARCÍA FRANCO, Alejandra (en prensa). *Los modelos en la enseñanza de las Ciencias*, México: Seminario de Investigación Educativa, Facultad de Química, UNAM.

CZERNIAK, C. M. (2009). Grand Challenges and Great Opportunities in Science Education. NARST-Conference, 19 de abril, Garden Grove, CA, USA. Los retos aparecen publicados en Charlene M. Czerniak (2009). Past President, 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.

COMITÉ de MINISTROS del CONSEJO de EUROPA (2001). Recomendación Nº (2001)19 sobre la participación de los ciudadanos en la vida pública, dirigida a 44 estados miembros aprobada el 6 de diciembre de 2001. Citada en el discurso del ex-lehendakari Juan José Ibarretxe el 27 de junio de 2008, dirigido al Parlamento Vasco, sobre el Proyecto de la Ley de Consulta.

- 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), 132-144.
- DRIVER, R. NEWTON, P. & OSBORNE, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms, *Science Education*, 84(3), 287-312.
- ERDURAN, S. & DUSCHL R. (2004). Interdisciplinary Characterization of Models and the Nature of Chemical Knowledge in the Classroom, *Studies in Science Education*, 40, 111-144.
- FEYNMAN, Richard P. (1963/1995). *Six easy pieces: Essentials of physics explained by its most brilliant teacher*. New York: Addison-Wesley.
- FEYNMAN, R. P. (1981, fecha de la grabación de la entrevista). Jeffrey Robbins (ed., 1999), *The Pleasure of Finding Things Out: The Best Short Works of Richard P. Feynman*, New York: Perseus Books.
- FLORES-CAMACHO, F., GALLEGOS-CÁZARES, L., GARRITZ, A. & GARCÍA-FRANCO, A. (2007). Incommensurability and Multiple Models: Representations about Structure of Matter in Undergraduate Chemistry Students, *Science & Education*, 16(7-8), 775-800.
- FRANCISCO-MARQUEZ, M. & GALANO, A. (2009). Role of the Sulfur Atom on the Reactivity of Methionine toward OH Radicals: Comparison with Norleucine, *J. Phys. Chem. B*, **113**(10), 4947-4952.
- GARDNER, Howard (2000). *La educación de la mente y el conocimiento de las disciplinas: lo que todos los estudiantes deberían comprender*. Barcelona: Paidós. El original es GARDNER, H. (1999). *The disciplined mind: What all students should understand?* New York: Simon & Schuster.
- 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], 363-369.
- GARRITZ, A. & TRINIDAD-VELASCO, R. (2006). El conocimiento pedagógico de la estructura corpuscular de la materia, *Educación Química* **17**(extraord), 236-263.
- GARRITZ, A. (2006). Naturaleza de la ciencia e indagación: cuestiones fundamentales para la educación científica del ciudadano. *Revista Iberoamericana de Educación*, 42, 127-152.
- GARRITZ, A., NIETO, E., PADILLA, K., REYES, F. & TRINIDAD, R. (2008). Conocimiento didáctico del contenido en química. Lo que todo profesor debería poseer. *Campo Abierto*, 27(1), 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), 212-219.
- GIL-PÉREZ, D. (1983). Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, 1(1), pp 26-33.
- GIL-PÉREZ, D. & MARTINEZ-TORREGROSA, J. (1983). A model for problem-solving in accordance with scientific methodology, *European Journal of Science Education*, 5(4), 447-455.
- GLYNN, S. (1991). Explaining Science Concepts: A Teaching with Analogies Model. Glynn, S; Yeany, R.; Britton (Eds.), *The Psychology of Learning Science*. (Cap. 10, pp. 219-240), Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- HADDEN, Susan & BALES, Barry (1989). *Risk Communication about Chemicals in your Community*. Washington, D.C., USA: Environmental Protection Agency.
- HODSON, Derek (2009). Putting Your Money Where Your Mouth Is: Towards an Action-oriented Science Curriculum, *Journal for Activist Science & Technology Education*, 1(1). Versión electrónica disponible en <http://www.wepaste.org/journal.html>. Consultada el 13 de junio de 2009.

- HYSLOP-MARGISON, Emery J. & THAYER, James (2009). *Teaching Democracy. Citizenship Education as Critical Pedagogy*. Rotterdam: Sense Publishers.
- INNERARITY, D. (2008). "El retorno de la incertidumbre", *El País*, 7-10-2008.
- IZQUIERDO, M. (2006). La educación química frente a los retos del tercer milenio, *Educación Química*, 17(extraord), 286-299.
- JAEGER, Carlo C., RENN, Ortwin, ROSA, Eugene A. & WEBLER, Thomas (2001). *Risk Uncertainty and Rational Action*. Londres: Earthscan Pub.
- JESSOP, R. (2008). A cultural political economy of competitiveness and its implications for higher education. In R. Jessop, N. Fairclough, & R. Wodak (eds.), *Education and the Knowledge-Based Economy in Europe*, (Chapter 1. Pp. 13-40), Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers.
- JIMÉNEZ, Gregorio y NÚÑEZ, Eva (2009). Cooperación *on line* en entornos virtuales en la enseñanza de la química, *Educación Química*, 20(3), 314-319.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M. P. & DÍAZ DE BUSTAMANTE, J. (2003). Discurso de aula y argumentación en la clase de ciencias: cuestiones teóricas y metodológicas, *Enseñanza de las ciencias*, 21(3), 359-370.
- KLAFFKI, Wolfgang (1958). *Didaktische Analyse als Kern der Unterrichtsvorbereitung*. Basel: Wienheim.
- KLUSSMANN, M., IWAMURA, H., MATHEW, S. P., WELLS, D. H., PANDYA, U., ARMSTRONG, A. BLACKMOND, D. G. (2006). Thermodynamic control of asymmetric amplification in amino acid catalysis, *Nature*, 441, 621-623.
- KULINOWSKI, Kristen (2003). *Nanotechnology: From "Wow" to "Yuck"?* Rice University. En la URL del museo de ciencias de Boston http://www.mos.org/media/docs/Nanotech_Background.pdf . Consultada el 6 de julio de 2009.
- LATAPÍ, Pablo (2007). Conferencia Magistral al recibir el doctorado Honoris Causa en la Universidad Autónoma Metropolitana de México en 2007. *Revista Electrónica Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación*. Documento electrónico consultado el 27 de agosto de 2009 en <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=55130515&iCveNum=6661>.
- LE BRETON, David (1995). *La sociologie du risque*. Paris: Presses Universitaires de France.
- LINCOLN, T. A. & JOYCE, G. F. (2009). Self-Sustained Replication of an RNA Enzyme, *Science* 323, 1229-1232.
- LUHMANN, Niklas (1993). *Risk: a sociological theory*, Nueva York: Aldine de Gruyter.
- MACHADO, Antonio (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. & BORKO, H. (1999). Nature, sources, and development of the PCK for science teaching. In 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. & JUSTI, R. (2009). Learning of Chemical Equilibrium through Modelling-based Teaching, *International Journal of Science Education*, 31(5), 603-630.
- MARSH, H. W. & SHAVELSON, R. (1985). Self-concept: Its multifaceted, hierarchical structure. *Educational Psychologist*, 20, 107-123.
- MATTHEWS, M. R. (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual, *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), 255-277.
- MCCOY, M. & JOHNSON, J. (2009). Dealing with CO₂ Technologies to Capture Greenhouse Gas Advance, *Chemical & Engineering News*, April 6, 87(14), pp. 5-10.

- MELLADO, V., Cambio didáctico del profesorado de ciencias experimentales y filosofía de la ciencia, *Enseñanza de las Ciencias*, **31**(3), 343-358, 2003.
- MENCACCI, C. & CERVERI, G. (2008). *Alzheimer Review*, documento electrónico disponible en URL http://www.leadershipmedica.com/sommari/2005/numero_10/medicina/articolo_1/articolo_ing/interfaccia.htm. Revisado el 9 de julio de 2009 por última ocasión.
- MILLAR, Robin & OSBORNE, Jonathan (Eds.), (1998). *Beyond 2000: Science education for the future*. London: King's College School of Education.
- MOLINA, M. J., & ROWLAND, F.S. (1974). Stratospheric Sink for Chlorofluoromethanes: Chlorine Catalysed Destruction of Ozone, *Nature*, **249**, 810-814.
- MOLINA, M. J., COLUSSI, A. J., MOLINA, L. T., SCHINDLER, R. N. & TSO, T.-L. (1990). Quantum Yield of Chlorine-Atom Formation in Photodissociation of Chlorine Peroxide (ClOOCl) at 308 nm, *Chemical Physics Letters*, **173**, 310-315.
- MONK, M. & OSBORNE, J. (1997). Placing the history and philosophy of science on the curriculum: A model for the development of pedagogy, *Science Education*, **81**(4), 405-424.
- MORIN, Edgar (1999). *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro*, México: UNESCO.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996). *National Science Education Standards*, Washington, DC: National Academies Press.
- NEWTON, P., DRIVER, R. & OSBORNE, J. (1999). The place of argumentation in the pedagogy of school science, *International Journal of Science Education*, **21**(5), 553-576.
- NIAZ, M. (2005). ¿Por qué los textos de Química General no cambian y siguen una 'retórica de conclusiones'?, *Educación Química*, **16**(3), 410-415.
- NIESWANDT, M. (2007). Student Affect and Conceptual Understanding in Learning Chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, **44**(7), 908-937.
- OCDE (2007). *Programme for International Student Assessment, PISA 2006. Science competencies for tomorrow's world. Volume I: Analysis*. Paris: Organisation for Economic Co-Operation and Development.
- OEI (2008). *METAS EDUCATIVAS 2021. La educación que queremos para la generación de los Bicentenarios*, Madrid: OEI. Borrador, primera versión de septiembre 2008.
- OLIVÉ, León (2007). *La ciencia y la tecnología en la sociedad del conocimiento*, México: Fondo de Cultura Económica.
- ONU (2009). *Informe de evaluación global sobre la reducción del riesgo de desastres 2009. Riesgo y pobreza en un clima cambiante. Invertir hoy para un mañana más seguro*, Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de la Organización de las Naciones Unidas. Puede consultarse en Internet en la URL <http://www.preventionweb.net/gar09>
- ORGILL, M. K. & BODNER, G. (2005). The Role of Analogies in Chemistry Teaching. In T. Greenbowe, N. Pienta & M. Cooper (eds.) *Chemists' Guide to Effective Teaching*. (Pp. 90-105). Upper Saddle River, NJ: Pearson Education.
- ORGILL, M. K. & BODNER, G. (2006). An Analysis of the Effectiveness of Analogy Use in College-Level Biochemistry Textbooks, *Journal of Research in Science Teaching*, **43**(10), 1040-1060.
- OSBORNE, Jonathan (2004). Charla inaugural del 29 de abril. King's College London. Puede leerse de la URL <http://www.kcl.ac.uk/content/1/c6/01/29/36/joinaugural.pdf>. Consultada por última vez el 12 de julio de 2009.
- OSBORNE, Jonathan (2007). Towards a more social pedagogy in science education: the role of argumentation, *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, **7**(1). Puede consultarse en la URL <http://www.fae.ufmg.br/abrapec/revista/index.html>. Traducida al español por *Educación Química*, **20**(2), 156-165, 2009.

- PADILLA, K., PONCE de LEÓN, A. M., REMBADO, F. M. & GARRITZ, A. (2008). Undergraduate Professors' Pedagogical Content Knowledge: The case of 'amount of substance', *International Journal of Science Education*, 30(10), 1389-1404.
- PENNAC, Daniel (2008). *Mal de escuela*, Madrid: Mondadori.
- PÉREZ MIRANDA, R., GALLEGO BADILLO, R., TORRES DE GALLEGO, L. N. & CUÉLLAR FERNÁNDEZ, L. H. (2004). *Las competencias, interpretar, argumentar y proponer en Química. Un problema pedagógico y didáctico*, Bogotá, Colombia: Universidad Pedagógica Nacional.
- PESTALOZZI, Johann H. (1801). *Cómo Gertrudis enseña a sus hijos*. Introducción y edición por José María Quintana Cabañas. Barcelona, 2009.
- PINTRICH, P. R., MARX, R. W. & 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), 167–199.
- PIÑEYRO-NELSON, A.; VAN HEERWAARDEN, J.; PERALES, H. R.; SERRATOS-HERNÁNDEZ, J. A.; RANGEL, A.; HUFFORD, M. B.; GEPTS, P.; GARAY-ARROYO, A.; RIVERA-BUSTAMANTE, R.; ÁLVAREZ-BUYLLA, E. R. (2009). Transgenes in Mexican maize: molecular evidence and methodological considerations for GMO detection in landrace populations, *Molecular Ecology*, 18(4), 750-761.
- PIQUETTE J. S. & HEIKKINEN H. W., (2005), Strategies reported used by instructors to address student alternate conceptions in chemical equilibrium, *Journal of Research in Science Teaching*, 42, 1112–1134.
- POPPER, Karl (1934). *Logik der Forschung*. Springer. Vienna.
- POSNER, G. J., STRIKE, K. A., HEWSON, P. W. & GERTZOG, W. A. (1982). Accomodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change, *Science Education*, 66(2), 211-227.
- POWNER, M. W., GERLAND, B. & SUTHERLAND, J. D. (2009). Synthesis of activated pyrimidine ribonucleotides in prebiotically plausible conditions, *Nature*, 459, 239-242.
- RAVILOLO, A. & GARRITZ, A. (2009). Analogies in the teaching of chemical equilibrium: a synthesis/analysis of the literature, *Chemistry Education: Research and Practice*, 10(1), 5-13.
- REN21 (2009). Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. Renewables Global Status Report 2009 update. Puede accederse de la URL http://www.ren21.net/pdf/RE_GSR_2009_Update.pdf
- ROCARD, M., CSERMELY, P., JORDE, D., LENZEN, D., WALLBERG-HENRIKSSON, H. & HEMMO, V. (2007). *Science Education now: a Renewed Pedagogy for the Future of Europe*. Brussels: European Commission, Directorate-General for Research.
- RODRÍGUEZ IBARRA, Juan C. (2009). "Sociedad de la imaginación", *El País*, 25 de abril, pp. 29-30.
- RUDGE, D. W. & HOWE, E. M. (2009). An explicit and reflective approach to the use of history to promote understanding of the nature of science, *Science & Education*, 18(5), 561–580.
- SCHUDSON, Michael; SMELSER, Neil J. (co-chairs) et al. (2007). *General Education in the 21st Century: A Report of the University of California Commission on General Education*, Berkeley: University of California. Puede obtenerse de la URL <http://cshe.berkeley.edu/publications/docs/GEC-WEB.FINAL.pdf> de donde fue bajado el 18 de agosto de 2009.
- SHULMAN, L. S. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching, *Educational Researcher*, 15(2), 4–14.
- SHULMAN, L. S. & SYKES, G. (1986). *A national board for teaching? In search of a bold standard: A report for the task force on teaching as a profession*. New York: Carnegie Corporation.
- SNYDER, R. (1980). *Buckminster Fuller: An Autobiographical Monologue/Scenario*. New York: St. Martin's Press.
- SUNKEL, G. (2006). *Las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en la educación en América Latina. Una exploración de indicadores*, Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina.

- SZOSTAK, J. W. BARTEL, D. P. & LUIGI, P. (2001). Synthesizing life, *Nature*, 409, 387-390.
- THE NEW YORK TIMES (2009). New Glimpses of Life's Puzzling Origins. Publicado el 15 de junio. Información en línea en la URL http://www.nytimes.com/2009/06/16/science/16orig.html?_r=1&scp=1&sq=life%20origin&st=cse
- TOULMIN, Stephen (1958). *The uses of argument*. New York: Cambridge University Press.
- TREAGUST, D. F., HARRISON, A. G. & VENNVILLE, G. J. (1998). Teaching Science Effectively with Analogies: An Approach for Preservice and Inservice Teacher Education, *Journal of Science Teacher Education*, 9(2), 85, 101.
- TREAGUST, D. F., & CHITTLEBOROUGH, G. D. (2001). Chemistry: A matter of understanding representations. In J. Brophy (Ed.), *Subject-specific instructional methods and activities* (Advances in research on teaching Vol. 8, pp. 239-267). Oxford: Elsevier Science Ltd.
- UE (2009). DIRECTIVE 2009/28/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC, *Official Journal of the European Union*, 5.6.2009.
- URZÚA, C. & GARRITZ, A. (2008). Evaluación de competencias en el nivel universitario. *Ideas@CONCYTEG* 3(39), 138-154. Revista del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología del Edo de Guanajuato. Puede consultarse en la URL <http://octi.guanajuato.gob.mx/gaceta/Gacetaideas/frmPrincipal.php>
- VAN EEMEREN, Frans H., GROOTENDORST, R., HENKEMANS, F. S., BLAIR, J. A., JOHNSON, R. H., KRABBE, E. C. W., PLANTIN, C., WALTON, D. N., WILLARD, C. A., WOODS, J., & ZAREFSKY, D. (1996). *Fundamentals of argumentation theory: A handbook of historical backgrounds and contemporary developments*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- WARDLAW, C. (2006). Mathematics in Hong Kong /China: Improving on being first in PISA. 50th Annual Meeting of the Australian Mathematical Society, MacQuarie University, Sydney, September, 24.
- WILLIAMS, Garnett P. (1997). *Chaos theory tamed*, Londres: Taylor and Francis.
- ZEIDLER, D. L., WALKER, K. A., ACKETT, W. A., & SIMMONS, M. L. (2002). Tangled up in views: Beliefs in the nature of science and responses to socioscientific dilemmas, *Science Education* 86,343-367.
- ZEIDLER, Dana L. (ed., 2003). *The Role of Moral Reasoning on Socioscientific Issues and Discourse in Science Education*, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- ZEIDLER, D. L., SADLER, T. D., SIMMONS, M. L., & HOWES, E. V. (2005). Beyond STS: A research-based framework for socioscientific issues education. *Science Education*, 89(3), 357-377.
- ZEMBYLAS, M. (2007). Emotional ecology: The intersection of emotional knowledge and pedagogical content knowledge in teaching. *Teaching and Teacher Education*, 23, 355-367.