

EDUCACIÓN CIENTÍFICA A PROPÓSITO DE LA PALABRA CRISIS

BONIL, JOSEP y PUJOL, ROSA MARIA

Grup de Recerca Còmplex. Departament de Didàctica de la Matemàtica i de les Ciències Experimentals. Universitat Autònoma de Barcelona

josep.bonil@uab.cat

rosamaria.pujol@uab.cat

Resumen. La palabra crisis ha tomando una gran relevancia social. Tras ella se vislumbra una situación que incorpora múltiples dimensiones entre las que destacamos una crisis socioambiental, una sociocultural y una sociocientífica. Aceptar este diagnóstico sitúa a la educación científica ante el reto de pensar cómo dotar a la ciudadanía de los recursos que le permitan construir las oportunidades que ofrece una crisis. Creemos que la complejidad se constituye como una propuesta sólida para abordar dicho reto.

El artículo reflexiona en torno a las crisis que refleja nuestro mundo y las aportaciones de la complejidad. Seguidamente propone algunas reflexiones sobre la forma que toma un currículum cuando se entiende desde la complejidad. Por último propone y ejemplifica algunos cambios respecto a ¿qué enseñar? y ¿cómo enseñar? derivados de repensar la educación científica desde una mirada compleja.

Palabras clave. Educación científica, complejidad, crisis, oportunidad.

Science Education in Terms of the Word *Crisis*

Summary. Lately the word crisis has acquired enormous social relevance. Behind it a multi-dimensional crisis can be glimpsed, with emphasis on the socio-environmental, socio-cultural and socio-scientific dimensions. Accepting this diagnosis means that Science Education is confronted with the challenge of devising how to endow citizens with the resources that will enable them to build on the opportunities a downturn offers. We believe complexity is a solid proposal for tackling this challenge.

The article looks at the crises our world reflects and the contributions made as a result of complexity. It then offers certain views on the form a curriculum takes when understood from complexity. Finally it proposes certain exemplary changes with respect to the questions «What to teach?» and «How to teach?» that arise from rethinking Science Education from a complex viewpoint.

Keywords. Science Education, complexity, crisis, opportunity.

INTRODUCCIÓN

La redacción de este texto se inicia en el último trimestre de 2008. Nos encontramos ante el ordenador en el momento en que el estallido de la burbuja inmobiliaria es ya irreversible, cuando las hipotecas *subprime* acaparan titulares de prensa, la banca de todo el mundo se ve cuestionada, es intervenida, y en todos los ámbitos sociales se respiran aires de desorientación asociados a la palabra crisis. No vamos a ser ingenuos: la crisis es un estado natural en nuestro mundo y las dimensiones

de la actual son más profundas de lo que se refleja en los medios.

El origen etimológico de la palabra griega *crisis* (κρίσις) nos remite al verbo *decidir*. En Oriente, la misma palabra está asociada al fluir, al cambio y a las oportunidades que éste puede ofrecer. Decisión y cambio, pues, que van ligados a oportunidad cuando se opta por la innovación desde una plataforma que nos permita fundamentar la propuesta.

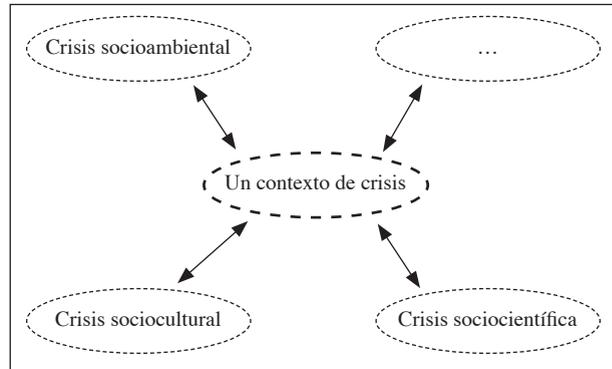
Pensamos que la educación en general, y la educación científica en particular, pueden y deben ser plataformas que orienten la toma de decisiones para facilitar a la ciudadanía el aprovechamiento de las oportunidades que toda crisis ofrece. Este proceso exige proponer nuevas ideas y reorganizar las existentes. La oportunidad no aparece por sí sola, sin modificar lo que se ha venido haciendo hasta el momento. Su búsqueda implica una apuesta por innovar, por pensar de forma divergente y arriesgar en la propuesta.

Desde el grupo de investigación Còmplex, del departamento de Didáctica de la Matemàtica i de les Ciències Experimentals de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), estamos trabajando en todo lo que puede aportar la complejidad a la educación científica, convencidos de que puede ser una plataforma, si bien no la única, para potenciar desde la educación científica las oportunidades que nos puede ofrecer una crisis. En el presente artículo ofrecemos una reflexión en torno a algunas dimensiones de la crisis actual, desde un posicionamiento que pretende superar la perspectiva económica omnipresente en los medios de comunicación. Planteamos algunos de los cambios que podemos obtener incorporando los principios de la complejidad a la educación científica, para terminar presentando un ejemplo de nuestra propuesta, basado en una experiencia didáctica en el contexto de la formación inicial de maestros. Encontrará el lector en este artículo un texto que complementa otras reflexiones sobre la complejidad y la educación científica (Bonil, Calafell, Marquez y Pujol, 2004a; Bonil y Pujol, 2008; Bonil, Sanmartí, Tomàs y Pujol, 2004b; Davis y Sumara, 2007, 2008; García, 1998; García y López, 2004; Izquierdo, Espinet, Bonil y Pujol, 2004; Mayer, 2002; Sauvè, 2006), para avanzar en la construcción de un marco teórico que favorezca la emergencia de una educación científica responsiva ante contextos de crisis.

1. ¿CRISIS, QUÉ CRISIS?

Son varios los autores que caracterizan el tiempo en que vivimos como un contexto de crisis, en el que se vislumbra el fin de un modelo socioeconómico (Niño, 2009), se desvanecen los referentes de la modernidad (Spaemann, 2007) y emerge una configuración fluida que diluye las certezas (Bauman, 2007a), donde las redes globales se erigen en un nuevo modelo de construcción de las relaciones sociales (Castells, 1997) y los soportes digitales sustituyen a los analógicos, desafiando los conceptos de espacio y tiempo. Se trata de un momento histórico, en el que la emergencia de una crisis global es resultado de la relación retroactiva entre fenómenos ocurridos en ámbitos complementarios, lo que evidencia el carácter poliédrico de esta crisis en la que confluyen varias perspectivas. Una crisis, en definitiva, resultante de la forma en que los individuos hemos pensado, sentido y construido el mundo. En nuestro caso, y fruto de nuestra línea de investigación, hemos focalizado la atención en tres perspectivas de la crisis: socioambiental, sociocultural y sociocientífica. Sabemos, sin embargo, que éstas representan tan sólo una parte de un escenario mucho más complejo (Figura 1).

Figura 1
Un contexto de crisis.



1.1. Una crisis socioambiental

La mayor parte de los diagnósticos sobre el estado del planeta nos hablan de la emergencia de una crisis que es resultado de la dialógica entre antropocentrismo y ambiocentrismo. La intervención de la humanidad sobre el medio ha adquirido tal grado de influencia, que ha generado efectos desconocidos hasta nuestro tiempo. Estos efectos tienen su reflejo en las estructuras sociales, lo que da lugar a un bucle retroactivo entre naturaleza y cultura que, en estos momentos, se traduce en el deterioro simultáneo de ecosistemas y comunidades en todo el planeta. En este escenario, las asimetrías globales aparecen como detonantes de movimientos migratorios, conflictos sociales de distinta intensidad y deterioro de ecosistemas, en una interacción continua entre las escalas local y global.

Un análisis general del planeta nos descubre cómo el impacto de la acción humana ha contribuido a la aparición de variaciones en la circulación oceánica, la composición de la atmósfera, la frecuencia de los incendios o la forma de gestionar el espacio (Terradas, 2005). Todos estos aspectos vienen a sumarse al aumento de la desertización de grandes zonas del planeta, la dificultad para gestionar los residuos y la evidencia incontestable de un significativo cambio climático (Lovelock, 2007). Paralelamente, asistimos a migraciones masivas que generan conflictos de toda índole y un deterioro de los entornos urbanos.

Nos encontramos ante un panorama global que presenta grandes desequilibrios (Mayor, 2009), en un contexto en el que la presión demográfica nos obliga a plantear acciones a dos velocidades. Una de extrema urgencia, para combatir la desigual distribución de alimentos y el impacto de los conflictos bélicos; otra de alta urgencia, destinada a evitar el deterioro ambiental global. La sociedad contemporánea se presenta como una sociedad del riesgo (Beck, 1997), consecuencia de un modelo de relación utilitarista entre individuos y medio.

Ante estas evidencias, desde los movimientos sociales se han propuesto distintas alternativas. Posiblemente el tér-

mino que más ha arraigado ha sido el de *desarrollo sostenible*, propuesto por el Informe Brundtland en 1987. En esencia, el desarrollo sostenible vincula a las generaciones actuales con las futuras, partiendo del principio de que el impacto de las formas de vida contemporáneas no debe poner en peligro las del futuro. El concepto de desarrollo sostenible ha sido objeto de polémica entre los movimientos alternativos, que lo han calificado como oxímoron al considerar que los términos *desarrollo* y *sostenible* son contradictorios en sí mismos. Se le ha asociado a la llamada ecología superficial (Mayor, 2009), en la que no se cuestiona el modelo social en profundidad, sino que se tiende a un tipo de acción que permita generalizar el modelo occidental incorporando pequeños ajustes en las formas de vida.

Como reacción a este modelo se propone la ecología profunda (Mayor, 2009), basada en el principio de que la única respuesta posible a la crisis socioambiental pasa por dar un giro copernicano a los modelos de vida actuales.

¿Cuál es la educación científica capaz de favorecer en la ciudadanía la emergencia de un modelo alternativo de relación entre individuo y medio? Nos enfrentamos aquí a un primer reto cuando defendemos que la educación científica es una herramienta fundamental para promover en la ciudadanía nuevas formas de posicionarse en el planeta.

1.2. Una crisis sociocultural

Vivimos en un momento de cambio de referentes éticos. La evolución de la cultura occidental desde finales del siglo XIX, los conflictos bélicos y sociales, y los desastres ambientales sufridos durante el siglo XX configuraron progresivamente un escenario de profundo cambio de valores, en el que emergió el concepto de posmodernidad.

Si la modernidad se fundamentaba en aspectos como la modernización, la racionalización, el progreso (Morley, 1998), la razón y la historia (Mèlich, 2008), la posmodernidad se sostiene en la construcción continua del momento, en la interpretación, lo relacional y lo contextual. Desde la posmodernidad se asume que no existe «ningún punto arquimédico del conocimiento o de la moral que permita construir un sistema. Para ella sólo hay historias, relatos, juegos, interpretaciones» (Mèlich, 2008, p. 35).

En la posmodernidad se evidencia una profunda transformación de algunos de los referentes que permitieron construir la sociedad moderna. Desaparece el concepto de progreso que orientó la evolución de la sociedad occidental entre los siglos XVII y XIX. Ya no tiene sentido referirse a un progreso único como proyecto social que conducirá a un futuro utópico. Conviven en su lugar diversidad de progresos que hacen emerger propuestas incluso contradictorias (progreso médico, progreso económico, progreso educativo, progreso militar, etc.). Ante este nuevo concepto de progreso, los individuos ya no pueden ser neutrales: se hace necesario que opten

por un posicionamiento. El concepto de opción adquiere aquí un carácter determinante, pues está asociado al de libertad; libertad no como proyecto social (Spaemann, 2007), sino para escoger entre una diversidad de opciones. La libertad se convierte en objeto de consumo, ya que uno es más libre cuantas más opciones tiene para elegir.

La posmodernidad enuncia el fin de la diferenciación entre sujeto y objeto (Spaemann, 2007). El sujeto pasa a formar parte del propio objeto a través del proceso de conocer, que es en sí mismo constructor de la realidad. El conocimiento se construye en contextos culturales donde adquieren relevancia los lenguajes, desde una perspectiva no jerárquica. Distintos lenguajes dialogan entre sí, con la finalidad de construir una interpretación de los fenómenos que tiene sentido en relación con otros lenguajes, otros contextos, otros fenómenos...

Ante esta transformación aparecen nuevos referentes que orientan la vida de los individuos. Aspectos como el significado del tiempo, la organización económica y política, la incertidumbre y la pluralidad de estilos de vida se convierten en nuevos ejes estructurantes de la sociedad.

El tiempo posmoderno se convierte en un tiempo puntillista (Bauman, 2007a) donde el instante es la unidad temporal significativa. El tiempo pasa a ser una sucesión de puntos inconexos, y en cada punto aparecen de forma simultánea infinitas posibilidades y múltiples fracasos. Se anula de este modo la idea de progreso y se exige al individuo que aprenda y olvide a un ritmo vertiginoso, que sea un estrategia moviéndose a alta velocidad.

En la organización económica y política surge de forma imparable la idea de globalización (Bauman, 2007b). En ella adquieren relevancia los flujos de recursos: económicos, materiales, energéticos, de información y de personas. Los individuos se convierten en bienes de consumo al servicio de la globalización. Adquieren valor así conceptos como flexibilidad, diversidad, diferenciación, movilidad, comunicación, deslocalización, indeterminación... Se debilitan las escalas locales y pierde relevancia el Estado, lo que conlleva una mayor significatividad de la referencia individual. Los individuos deben hacer el esfuerzo de construir permanentemente su identidad en contextos fluidos.

La incertidumbre es protagonista de la vida cotidiana (Lipovetsky, 1987). Se asume la propuesta de sociedad del riesgo planteada por Beck (1997), producto de las relaciones personales. El riesgo, en consecuencia, deja de tener origen divino o azaroso para convertirse en una consecuencia de los actos humanos. Se trata de riesgos invisibles, no controlables desde las disciplinas del conocimiento, incapaces éstas de proponer respuestas en escenarios puntillistas. Tal situación debilita el estatus social de tales disciplinas (Beck, 2002), pues no pueden ofrecer certezas en un momento en que la duda adquiere categoría de elemento identitario. Resulta fundamental así entender la construcción de la identidad como un proceso continuo, abierto a la incertidumbre permanente.

Este escenario da lugar a una amplia pluralidad de estilos de vida, consecuencia de sustituir el colonialismo de la modernidad por la globalización posmoderna (Bauman, 2007b). La globalización se convierte en un proceso de homogeneización fractal que reproduce, en diversidad de escalas, unos mismos patrones de relación, en una disolución continua del espacio y el tiempo. Se hacen significativas las relaciones entre individuos, más allá de la identidad vinculada al lugar de origen. Se pierde el referente cultural local y surge un referente relacional de carácter global (Bauman, 2005), donde adquieren relevancia los «no lugares» (Augé, 1998).

¿Qué educación científica tiene sentido en contextos posmodernos? Aparece aquí un segundo reto, ya que necesitamos una educación científica que no renuncie a proponer modelos explicativos desde un marco de valores claro, pero flexible, ni a ser punto de referencia en unos contextos sociales en que las entidades cobran un sentido cada vez más fluido.

1.3. Una crisis sociocientífica

A lo largo del siglo xx la empresa científica se ha visto sometida a un profundo proceso de transformación, siendo una de sus consecuencias la reconfiguración de la relación entre ciencia y sociedad. Emerge un nuevo paradigma que asume que todos los conceptos y teorías científicas son limitados y aproximados (Capra, 1996) y que la ciencia no puede facilitar una comprensión completa y definitiva de los fenómenos de nuestro mundo sin caer en el cientifismo (Agazzi, 1996) o en la tecnocracia (Sanmartín, 1992).

Al mismo tiempo, deja de tener sentido la diferenciación entre *homo sapiens*, el que conoce, y *homo faber*, el que hace. El conocer y el hacer se integran en un proceso de interrelación continua en el que la humanidad conoce porque hace y hace porque es capaz de conocer. Aparece así el concepto de tecnociencia.

La tecnociencia (Agazzi, 1996; Echevarría, 1998; Hottois, 1991; Mitcham, 1998; Sanmartín, 1992) es fruto del diálogo entre ciencia y tecnología. La ciencia contemporánea ya no puede alcanzar sus metas sin el soporte de la tecnología, al mismo tiempo que la tecnología moderna puede entenderse como una aplicación del conocimiento científico. La tecnociencia es quizás la forma más significativa en la que las sociedades occidentales intervienen sobre el medio. Una intervención que no pretende tan sólo conocer, sino también transformar y, en consecuencia, refleja un determinado proyecto social (Lujan, 1989). La tecnociencia constituye una actividad de gran potencial para el diseño, la transformación y el control de la naturaleza y la humanidad (González, López y Lujan, 2000), vinculada a menudo con el poder y los intereses económicos (Echevarría, 1998).

La posición que ocupa la tecnociencia en el sistema social se mueve entre el cientifismo y la tecnocracia, en un extremo, y el antropologismo en el extremo opuesto.

Esto genera un conjunto de tensiones que explica en parte la dificultad de encaje de la tecnociencia en la sociedad contemporánea.

El cientifismo asume la totalidad de la científicidad como valor de verdad absoluta (Agazzi, 1996), mientras la tecnocracia intenta extrapolar el desarrollo y la efectividad de los procesos técnicos a otros ámbitos de la sociedad (Méndez, 1989). En contraposición, el antropologismo sitúa a los individuos y la sociedad en el centro del proyecto técnico-científico. Esta tensión se refleja en algunas de las características que presenta la tecnociencia.

La forma en que la tecnociencia se transforma a sí misma se puede situar entre el evolucionismo y el humanismo (Hottois, 1991). Si dirigimos el foco hacia el evolucionismo, el proyecto técnico-científico se convierte en un ciego encadenamiento de éxitos y fracasos, con el azar ocupando el lugar central. Si pensamos en el mismo cambio desde el humanismo, emerge un proceso racional, concluido, donde se escoge la mejor opción de entre todas las posibles. Adquieren relevancia los valores y se sitúa a la humanidad en el centro del proceso.

De nuevo, la tensión aparece al definir la posición que ocupa la tecnociencia en un sistema social. Dicha posición tiene carácter recíproco, pues la sociedad condiciona la forma de ver los hechos y el modelo de ciencia se refleja en la praxis social (Echevarría, 1998), en un continuo movimiento entre elitismo y democratización (González et al., 2000). El elitismo defiende un conocimiento técnico-científico como patrimonio exclusivo de un grupo social específico, situado en un estatus superior al resto de la sociedad. Desde la democratización, en cambio, se opta por considerar la tecnociencia como un componente más del patrimonio cultural de una comunidad que plantea el reto de establecer un diálogo fluido con el resto de conocimientos, asumiendo un alto componente de equidad.

En definitiva, la tecnociencia aparece como una actividad situada lejos de la neutralidad (Agazzi, 1996; González et al., 2000), que plantea el conflicto ético de las consecuencias de las acciones humanas sobre el entorno natural y social (Almansa, 1997), y de la relación entre el proyecto técnico-científico y la responsabilidad humana. Se hace necesario en este punto vincular la tecnociencia a las políticas gubernamentales: educativa, científica, internacional, legislativa. Es decir, la imprescindible regulación de cómo la actividad técnico-científica se ubica en el sistema social y se convierte en agente configurador del modelo de sociedad y persona de cada comunidad.

¿Qué educación científica puede ayudar a la ciudadanía a definir el posicionamiento de la tecnociencia dentro del sistema social? Se dibuja el tercer reto, que invita a incorporar en la escuela reglas que favorezcan en el alumnado el descubrimiento de una ciencia que, ahora más que nunca, es conocimiento y acción transformadora.

2. UN CURRÍCULUM DE EDUCACIÓN CIENTÍFICA PARA ABORDAR LA CONSTRUCCIÓN DE OPORTUNIDADES

Convertir las crisis en espacios generadores de oportunidades exige actuar con espíritu innovador, diseñando acciones que no se sustenten en el vacío, sino en marcos de referencia que permitan dotarlas de sentido y evaluar su impacto.

Desde la educación científica se han planteado varias propuestas que constituyen marcos de referencia sólidos. Todas ellas se fundamentan en la reflexión teórica y en un amplio bagaje de investigación (Bonil et al., 2004b). No es nuestro objetivo cuestionarlas, sino aportar, con la complejidad, un nuevo enfoque que permita enriquecer el área de conocimiento y avanzar en el objetivo común de consolidar la presencia de la educación científica en la sociedad.

Pensamos que introducir los principios epistémicos de la complejidad (Izquierdo et al., 2004) al currículum nos permite enfrentarnos a los tres retos dibujados anteriormente: socioambiental, sociocultural y sociocientífico. Nos ofrece las herramientas necesarias para entender su interdependencia dinámica, sin perder la especificidad de cada uno. Nos obliga a ser flexibles, haciendo evidente que las soluciones propuestas hoy no servirán mañana y que, por tanto, resulta imprescindible la conciencia de estar construyendo el mundo diariamente, en todas sus escalas. Es una forma de posicionarse abierta a nuevos saberes, nuevas formas de pensar y nuevas situaciones. Asume la incertidumbre de la acción humana y, en consecuencia, su riesgo, sin renunciar por ello a actuar, pues utiliza la experiencia del pasado para construir el relato que se escribe día a día. No busca certezas y acepta el compromiso de la creación de nuevas visiones y nuevas actuaciones, a menudo desafiando viejos dogmas e incorporando un componente de transgresión que nos permita ir más allá.

Un currículum que incorpora los principios de la complejidad constituye un currículum sabio (Izquierdo et al., 2004), reflejo de una institución que se siente constructora de cultura y ofrece resistencia a la cultura dominante, una institución subversiva. En él, la educación científica tiene posibilidades de desarrollarse como motor de cambio, puesto que puede erigirse en núcleo cristizador, creador de una nueva ética, de un nuevo pensamiento y de una acción transformadora capaz de implicarse en la construcción del futuro.

Reflejar los principios de la complejidad en la actividad científica escolar conlleva como mínimo una doble reflexión. La primera, respecto a qué enseñar, es una reflexión de marcado carácter ideológico que implica decidir qué fracciones del mundo se incluyen en el currículum y cómo se presentan en el aula. La segunda, la de cómo enseñar, es una reflexión de componente metodológico que se refleja en la configuración del aula como espacio de interacción donde emerge la educación científica. A continuación proponemos respuestas para cada una de estas cuestiones, abordándolas desde la complejidad, y mostramos un ejemplo de su aplicación en el contexto de la formación inicial de maestros.

2.1. Opciones respecto a qué enseñar

Desde la complejidad, se opta de forma clara por una educación científica que, respecto a qué enseñar, se fundamenta en modelos conceptuales (Izquierdo et al., 1999) que revisten la forma de sistemas complejos.

La introducción de la complejidad provoca que los fenómenos del mundo se conviertan en oportunidades para establecer un diálogo permanente entre *identidades* y *patrones*. Las identidades permiten asignar palabras a estos fenómenos y, de esta forma, dotarlos de entidad lingüística y significación cultural. Los patrones permiten diferenciarlos del medio y descubrir en ellos regularidades que nos aproximan a los grandes modelos de la ciencia escolar (Izquierdo et al., 1999), lo que facilita su conexión con los modelos conceptuales científicos.

Se trata de fenómenos que no aparecen de forma aislada, sino vinculados constantemente con el medio. Esto convierte el aprendizaje científico en un viaje continuo entre *entidades* y *relaciones*, logrando que los procesos de enseñanza-aprendizaje de las ciencias sean una plataforma para aprender a construir entramados. Aquí son tan importantes las entidades como los vínculos que se establecen entre ellas y generan tramas de relaciones causales.

La causalidad se entiende desde una perspectiva poliédrica que relaciona *multicausas* y *multiefectos* en un *continuum* de bucles entre diversidad de niveles escalares. Bucle de carácter retroactivo y recursivo que implican que cada fenómeno sea a la vez transformado y transformador. Individuo y medio se convierten de este modo en agentes de cambio y de autotransformación que hacen de los procesos una propiedad intrínseca a los fenómenos del mundo.

Estos procesos sitúan los fenómenos entre la *estabilidad* y el *cambio*. La estabilidad permite que cada fenómeno mantenga su identidad, que podamos abordarlo desde la ciencia y asociarlo al modelo conceptual. A su vez, la perspectiva de cambio nos permite situar cada fenómeno en el medio, descubrir cómo a partir de su relación con otras entidades se generan mecanismos de autorregulación causantes de continuos procesos de transformación; en definitiva, descubrir lo que sucede.

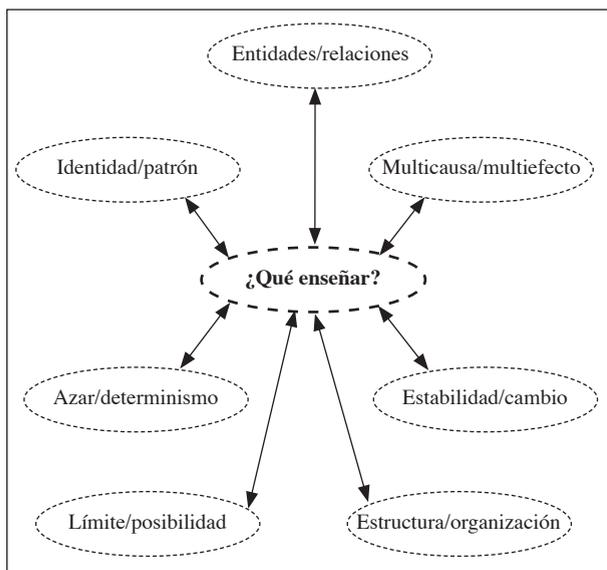
Se trata de ser conscientes del vínculo generado entre *estructuras* y *organizaciones*. Estructuras que forman entidades, que se constituyen como un conjunto de elementos distribuidos de una determinada manera permitiendo su identificación física. Por su parte, centrar la atención en organizaciones facilita descubrir pautas subyacentes, formas en que los sistemas se autoorganizan ante las fluctuaciones del medio para garantizar su continuidad como entidades.

Todo ello, dentro de un juego permanente entre *límites* y *posibilidades*, impuestos tanto por las características del sistema como por las constricciones del medio. Límites que determinan qué pautas de organización se pueden

desarrollar y cuáles son imposibles; que se encuentran con el conjunto de trayectorias posibles que pueden suceder haciendo viable la evolución del sistema en un amplio espectro de posibilidades que en ningún caso es infinito.

Es la configuración de una historia que se explica por el diálogo permanente entre *azar* y *determinismo*. El azar permite descubrir que en un sistema complejo no es posible conocer y controlar todas las relaciones existentes. Y aun así, en el aula se puede descubrir que existen relaciones, pautas de comportamiento que son imposibles y otras que tienen una probabilidad muy alta de producirse, aunque en ningún caso única.

Figura 2
¿Qué enseñar?



Resulta evidente, pues, que la incorporación de la complejidad al qué enseñar exige asumir un cambio de reglas en la mirada (Figura 2), lo que no sólo implica cambiar la forma de seleccionar los fenómenos, sino también la manera de descubrir e interpretar sus dinámicas.

2.2. Opciones respecto a cómo enseñar

Desde la ciencia escolar, los procesos de enseñanza-aprendizaje de las ciencias se definen como una modelización que constituye en sí misma un modelo didáctico. Es una educación científica que opta por vincularse al medio dialogando entre *fenómenos* y *temáticas*. Selecciona fenómenos cercanos y concretos que faciliten a las personas contrastar las múltiples formas de interpretación y de acción que convergen en el aula, todo ello sin olvidar que la ciencia tiene unas temáticas propias que le permiten elaborar modelos explicativos sólidos. Se favorece así que los temas no queden aislados del contexto y

resulten en cambio funcionales y significativos al vincularlos a los fenómenos del entorno.

La elaboración de estas estrategias requiere un viaje continuo entre la mirada *disciplinar* y la *transdisciplinar*, generando espacios de diálogo disciplinar. Las miradas disciplinares permiten poner en contacto los fenómenos con los modelos de cada disciplina y facilitar la comprensión de aspectos parcelados de la realidad. A su vez, la mirada transdisciplinar fomenta una visión holística que permite situar el fenómeno en su contexto, considerando la necesidad de hacer converger diversidad de miradas para construir una visión compleja del fenómeno de estudio.

Es un juego en el que se encuentran de forma permanente la *información* y las *preguntas*. La información, como conocimiento que se obtiene del aula, del medio, de las fuentes bibliográficas y constituye una forma de favorecer los procesos de modelización y, en consecuencia, de incorporar el bagaje cultural de la comunidad. Las preguntas, como motor del conocimiento, como forma de situarse delante del mundo para detectar cuestiones interesantes. Las preguntas permiten conectar el fenómeno con las disciplinas que ayudarán a comprender aquello de que se está tratando y buscar el conocimiento pertinente. Al mismo tiempo, favorecen un posicionamiento crítico que cuestiona la información y, en consecuencia, adopta una actitud de búsqueda del rigor disciplinar como forma de situarse ante el mundo.

En esta educación científica, el *rigor* se encuentra permanentemente con la *espontaneidad*. Un rigor que asume que la construcción del conocimiento está guiada por reglas sólidas y valores como la perseverancia, la atención, la búsqueda de fuentes de información, el debate y la elaboración de conclusiones. A su vez, la espontaneidad permite descubrir nuevos caminos, nuevas reglas, nuevos enfoques para nuevos o viejos problemas. Se trata de una actividad científica escolar que no está reñida con la innovación, sino que, por el contrario, se convierte en plataforma que la estimula y que entiende la acción innovadora como una forma de responsabilidad.

La educación propuesta hace relevante el diálogo entre *razón* y *emoción*. La razón permite descubrir reglas, utilizar lenguajes, esforzarse por construir conocimiento y comunicarlo de forma inteligible a los demás. Por su parte, los aspectos emocionales no sólo entran en juego en el momento de la acción, sino también en la forma de acercarse a los fenómenos y construir conocimiento a partir de ellos. Construir conocimiento se convierte en una actividad indisoluble de emocionarse, imaginar, saborear el reto de pensar nuevas ideas con las que elaborar nuevos modelos para avanzar en la comprensión del mundo.

Y esta comprensión se erige en punto de encuentro entre *reflexión* y *acción*. Una reflexión que se produce en el nivel cognitivo y permite estimular competencias como el análisis, el razonamiento, la síntesis y la construcción de estructuras lógicas, a partir de enriquecer patrones de organización cognitiva. La acción se entiende como intervención sobre el medio desde la responsabilidad que conlleva asumir el rol de miembro de la ciudadanía, entendiendo que la ciencia es una forma de intervención que se inventa

en el encuentro entre pensamiento y acción para posibilitar el enriquecimiento continuo de ambos elementos.

Se plantea, en definitiva, una forma de entender la educación científica en la que adquieren relevancia los *contenidos* y las *competencias*. Los primeros permiten definir lo que se debe aprender y favorecen la construcción de un pensamiento cada vez más complejo, orientado por los procesos de modelización. Las competencias vinculan los procesos de modelización al medio, dando relevancia a la acción desde una perspectiva ciudadana, ya que capacita a los individuos para actuar de forma transformadora, definiendo estrategias de intervención permanentemente reguladas.

En este contexto, se entiende que la evaluación y la gestión del aula constituyen un proceso indisoluble del cómo aprender, un modelo de evaluación en el que confluyen la dimensión *acreditativa* y la *reguladora*. La acreditativa, porque una de las funciones del sistema educativo es acreditar ante la sociedad los conocimientos que los individuos poseen. Pero esta dimensión no es suficiente, ya que aprender es un proceso de cambio constante y conlleva una dinámica en la que resulta imprescindible la reflexión continua del alumnado, para evaluar y regular tanto los objetivos iniciales como los cambios producidos y las estrategias de aprendizaje utilizadas.

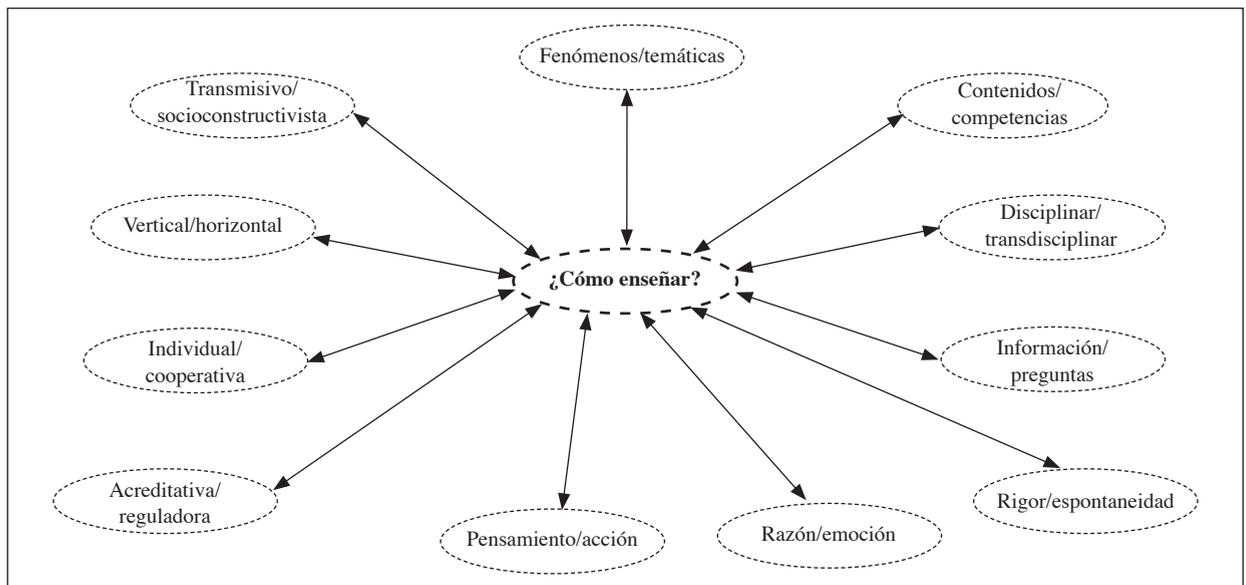
Convergen aquí la gestión *vertical* y la *horizontal* dentro del aula. La gestión vertical asume que el profesorado es el responsable del proceso de enseñanza-aprendizaje, el que lo planifica, ejecuta y evalúa, en una actividad continua que va desde la selección de contenidos hasta la evaluación del alumnado. Pero esta gestión vertical no deja de lado la necesidad de establecer contextos horizontales, donde la dimensión comunicativa adopta un carácter determinante. Si

entendemos que aprender es poder reconstruir individualmente aquello que se piensa colectivamente, será necesario contemplar un proceso permanente de comunicación que invite a explorar nuevas ideas y verificarlas, en lugar de limitarse a juzgarlas; que plantee problemas en lugar de dar respuestas; que anime a anticipar las consecuencias de una acción futura en vez de ofrecer directrices cerradas de actuación; que promueva la reformulación de las nociones expresadas en lugar de sancionar o excluir. Cobra sentido así el diálogo entre la dimensión individual de quien aprende y la colectiva, resultado de sentirse parte del grupo desde un posicionamiento constructivo.

Deja de tener sentido un modelo didáctico *transmisivo* y se apuesta por una perspectiva *socioconstructivista* que estimula a entender el alumnado como agente activo del proceso de enseñanza-aprendizaje. Así, el objetivo fundamental de la evaluación es proporcionar herramientas para que cada alumno aprenda a gestionar su propio proceso de aprendizaje.

Introducir la complejidad en el cómo enseñar (Figura 3) constituye un planteamiento que concibe el proceso educativo como factor capaz de propiciar una comprensión modelizadora de los fenómenos, estimular la autonomía personal a partir de la racionalidad, incitar al interés por el saber y la búsqueda de razones que justifiquen o refuten los propios modelos. Esto se corresponde con una visión del proceso de enseñanza-aprendizaje entendido como actividad mental de los individuos consistente en reinterpretar y reelaborar formas iniciales de ver el mundo; un proceso participativo que propicia situaciones en las que cuestionar los modelos individuales, ampliar las variables que se ponen en juego, las relaciones que se establecen entre elementos, y desarrollar una continua reestructuración del conocimiento.

Figura 3
¿Cómo enseñar?



2.3. Llevar nuestra propuesta a la práctica

Como ejemplo de aplicación de nuestra propuesta teórica presentamos una actividad consistente en una salida de dos días. Ésta forma parte del programa de la asignatura Didáctica de las Ciencias Experimentales, en la formación inicial de maestros de la especialidad de Educación Primaria que se imparte en la Facultat de Ciències de l'Educació de la UAB.

La actividad se lleva a cabo en un equipamiento educativo situado dentro de los límites del Parque Natural del Montseny. El equipo educativo que gestiona los programas de la instalación trabaja desde hace más de veinte años con el profesorado de nuestro departamento. Fruto de este trabajo ha surgido una cultura didáctica compartida que ha dado lugar a un amplio abanico de propuestas didácticas dirigidas a alumnado de todas las etapas educativas.

Con el alumnado de magisterio se trabaja la propuesta que lleva por título «¿Hay nutrias en la riera de Arbúcies?» (*información/preguntas*). A partir de este interrogante se inicia la investigación sobre una problemática de relevancia para la gestión del parque natural (*fenómenos/temáticas*).

Antes de la salida, en la facultad se realiza una sesión de trabajo con el objetivo de presentar la problemática al alumnado y organizar los grupos de trabajo. El punto de partida de la sesión es un episodio del programa de televisión *Bèsties*¹ dedicado íntegramente a la nutria. En esta emisión se describen las características estructurales básicas de la nutria y de su hábitat, su ciclo vital y la interacción con otras especies que habitan en los ríos y rieras catalanas (*identidad/patrón*). También se hace una referencia muy detallada al programa de reintroducción de la nutria llevado a cabo por el Departamento de Medio Ambiente del gobierno regional. Seguidamente se reparte al alumnado en grupos de trabajo de entre 4 y 6 personas y se explica la propuesta de trabajo en términos generales, delimitando claramente el contenido de las cuatro sesiones que se desarrollarán sobre el terreno.

La primera sesión tiene por objeto que el alumnado se familiarice con la problemática que se va a tratar durante los dos días y elabore las hipótesis que orientarán el trabajo. Para ello, el encuentro entre el alumnado y el equipo educativo de la instalación se produce sobre el terreno: en la riera de Arbúcies, lo que permite que el equipo educativo presente la problemática en su contexto concreto y que el alumnado esboce sus primeras representaciones de la problemática que se va a tratar. Es un momento de contacto que facilita no sólo una aproximación desde el propio conocimiento (*contenidos/competencias*), sino también una aproximación afectiva (*razón/emoción*).

Seguidamente, ya en la casa de colonias, se pone a disposición del alumnado gran cantidad de documentación de diferentes áreas de conocimiento (*disciplinar/transdisciplinar*) para permitirle profundizar en la problemática de estudio y orientar su investigación (*fenómenos/temáticas*). Desde las ciencias naturales, se ofrece información relacionada con las características de la nutria, su modo de

vida, hábitat, lugar que ocupa en la red trófica, condiciones óptimas del agua de la riera para favorecer la vida de este animal e incluso datos climáticos... Desde las ciencias sociales, se aporta información sobre el cambio de usos del suelo y la riera de Arbúcies en el último siglo, la presencia de residuos en la zona y su gestión, las transformaciones en las redes de comunicación, los aspectos más destacados de la legislación que regula la gestión del parque natural... También se proporcionan algunas noticias de prensa sobre la presencia de la nutria en los ríos catalanes, refranes populares de la zona en torno a este mamífero e incluso obras de arte donde se refleja su vida.

Se propone que, una vez consultadas las fuentes de información, cada subgrupo elabore dos hipótesis que respondan a la pregunta inicial (*rigor/espontaneidad*). Una primera constatación es la necesidad de contemplar hipótesis en referencia a los ámbitos natural y sociocultural y las relaciones que se establecen entre ellos (*entidades/relaciones*).

La segunda sesión consiste en la recogida de datos sobre el terreno. En ella el alumnado se aproxima a la riera de Arbúcies y a la población de Breda, el núcleo urbano más próximo a la zona de estudio. Algunos recogen datos sobre la calidad del agua, otros identifican posibles hábitats o se centran en recopilar información respecto al caudal de la riera. Todo ello, en un proceso continuo de reflexión como grupo (*acreditativa/reguladora*) guiado por el equipo docente (*vertical/horizontal*). También se investigan aspectos sociales, a partir de entrevistas o consultando datos en el museo etnográfico de Breda (*disciplinar/transdisciplinar*).

Seguidamente, en la tercera sesión, cada grupo trata los datos obtenidos con la finalidad de llegar a resultados e interpretaciones que permitan validar o refutar las hipótesis planteadas. A continuación se diseña una forma de presentar el trabajo a los demás compañeros (*individual/colectivo*) que ha de permitir comunicar las conclusiones alcanzadas (*información/preguntas*) y conectar los propios resultados con los del resto de grupos, poniendo en evidencia la diversidad de factores que entran en juego (*entidades/relaciones*) cuando se trata de elaborar un juicio desde el rigor (*rigor/espontaneidad*).

En la cuarta sesión se ponen en común las conclusiones de las diferentes investigaciones y se plantea una propuesta consensuada de acción sobre el medio (*contenidos/competencias*). Para llegar a esta propuesta, se elabora una red formada por los factores evidenciados en las diversas investigaciones (*multicausas/multiefectos*). El resultado es una visión de conjunto que asume un fuerte componente de azar (*azar/determinismo*) y la impresión de que el fenómeno de estudio se encuentra en constante proceso de transformación (*estabilidad/cambio*). Finalmente, de forma consensuada, se propone una acción que pueda llevarse a cabo desde la escuela para intervenir en el fenómeno de estudio. Se llega así a la evidencia de que cualquier propuesta de acción (*contenidos/competencias*) respecto a la nutria implica un alto componente de responsabilidad, dado que no es posible anticipar todas sus consecuencias (*límites/posibilidades*).

Por último se abre un proceso de reflexión sobre el planteamiento didáctico de la salida, con el objetivo de conectarlo con los contenidos tratados durante las clases.

Desde la pregunta qué enseñar, el trabajo llevado a cabo revela la presencia de algunos de los aspectos que hemos enumerado a lo largo del texto. Responder a la pregunta planteada obliga al alumnado a construir una trama de relaciones entre las entidades que convergen en el fenómeno de estudio, incorporando la necesidad de contemplar una multiplicidad de causas y efectos. No es posible responder a la pregunta sin relacionar la calidad del agua de la riera, la morfología de su curso, el impacto de la acción humana, las condiciones meteorológicas y la conciencia de que existen variables que no han sido constatadas.

Todo ello, en una escala de espacio y tiempo muy restringida en la que emerge la necesidad de considerar el fenómeno como un proceso con su propia historia, que avanza hacia un futuro de carácter incierto. Se manifiestan así los límites, tanto de nuestro conocimiento como del resultado de nuestras acciones.

La puesta en común final revela la interdependencia de la información recogida, la conciencia de que existen parámetros que no se pueden controlar, e incluso desconocemos, y la imposibilidad de actuar de forma determinista ante la complejidad del fenómeno.

Como conclusión final descubrimos que no podemos saber si hay nutrias en la riera, pues no tenemos evidencias claras de su existencia, pero sí elaborar un juicio riguroso a partir de los hallazgos de la investigación.

Respecto a la cuestión de cómo enseñar, la actividad también presenta aspectos coherentes con nuestro planteamiento. El abordaje de la pregunta hace evidente que nos situamos ante una problemática de carácter complejo que demanda una aproximación poliédrica. Resulta relevante en este punto establecer espacios de diálogo entre disciplinas, pues la pregunta de partida implica considerar la nutria como un ser vivo vinculado a un hábitat, pero también tener en cuenta aspectos sociales ligados a los usos del territorio o las formas que adoptan las relaciones entre los individuos.

A lo largo de la investigación, la información cobra sentido en relación con las preguntas que surgen; la pregunta que orienta la salida, las nuevas que van apareciendo durante el trabajo y la necesidad de proponer una acción sobre el medio como resultado final. Todo ello obliga al alumnado a reelaborar constantemente su estrategia de trabajo, dialogando entre el rigor y la espontaneidad, incorporando la reflexión y la emoción que supone encontrarse ante un nuevo reto.

Aparece aquí un alto componente de trabajo cooperativo, dado que cada subgrupo trabaja de forma autónoma en la construcción y reconstrucción de su estrategia. En la cuarta sesión, el trabajo adquiere el carácter de un objetivo compartido, ya que sólo es posible avanzar en la comprensión del fenómeno desde la conexión de los re-

sultados de todas las investigaciones. También se hace necesario consensuar una propuesta de acción que se fundamentará en la tarea llevada a cabo por todos los subgrupos.

A lo largo de toda la investigación, el equipo docente asume el papel de catalizador. Orienta el itinerario que va tomando el proceso, aporta rigor a las decisiones del alumnado y favorece que las discusiones en el seno de cada subgrupo estimulen el proceso de aprendizaje. Finalmente, facilita que el alumnado establezca la necesaria conexión entre la actividad realizada y el modelo de educación científica que se presenta desde la asignatura.

En el transcurso del proceso de trabajo, el alumnado va cambiando su manera de entender las salidas al medio natural. Su posicionamiento inicial es el de pensar que la salida ofrecerá certezas respecto al conocimiento del medio. La ven como una salida para trabajar únicamente la disciplina de conocimiento del medio natural, fundamentada en un gran volumen de información soportada en los sustantivos que nos sirven para denominar las entidades estudiadas, donde las actuaciones que se proponen son finalistas y absolutamente previsibles.

Contrariamente a lo que se esperaba, el alumnado se enfrenta a la incertidumbre y la duda. Aprende de forma práctica que, cuando se estudian fenómenos del medio natural, es fundamental considerar el conocimiento de varias disciplinas desde una perspectiva de diálogo. Por último, entiende que la aproximación al medio conlleva la necesidad de definir estrategias a partir del diálogo entre pensamiento, acción y comunicación.

La salida ofrece un punto de encuentro entre docente, alumnado y didáctica de las ciencias en el que la construcción permanente del aprendizaje se entiende como un reto compartido. Se activa un proceso de elaboración intelectual en constante diálogo entre certeza e incertidumbre, orden y desorden, rigor y espontaneidad, que no está exento de emoción y creatividad para la formulación de nuevas preguntas y el descubrimiento y enriquecimiento de modelos explicativos del fenómeno estudiado.

3. A MODO DE CIERRE

A lo largo del texto hemos planteado tres preguntas que, de hecho, se resumen en una: ¿Cuál es la educación científica capaz de favorecer la formación de una ciudadanía competente para transformar los escenarios de crisis en contextos de oportunidad? La respuesta a esta pregunta debe revestir necesariamente la forma de un proceso indeterminado. Finalizaron los tiempos de las certezas absolutas, de los puntos de referencia inalterables, nos encontramos ahora en sociedades líquidas, que no gaseosas.

Es el momento de construir sin renunciar a marcos orientadores dinámicos, basados en la reflexión impulsada por la razón y por la emoción, en la acción colectiva trans-

formándose a sí misma a lo largo del proceso, en la asunción de la responsabilidad de innovar desde la conciencia del riesgo.

La complejidad puede ser una forma de orientar el proceso innovador. Aunque no vamos a ser ni ingenios ni reduccionistas, no es más que una propuesta entre las muchas posibles. Nos ofrece algunas reglas para interpretar lo que vemos, nos muestra el camino recorrido y nos impulsa a seguir adelante, pero no pretende, en ningún caso, garantizarnos certezas que muestren el itinerario que debemos seguir. Es por ello por lo que incorporar la complejidad a la educación científica va más allá de un cambio puntual. Se trata de una transformación profunda de la forma de entender la ciencia, la educación científica y la función social de la educación.

Situarnos en este contexto nos exige abordar la definición de un modelo didáctico capaz de dar respuesta a la crisis que hemos dibujado. Un modelo que, desde nuestro punto de vista, debe ser abierto, pues sólo desde la apertura es posible enfrentarse a un mundo en el que conviven infinidad de visiones. Un modelo dinámico, en permanente construcción y que, por lo tanto, se regule constantemente sin pretender llegar a un final de la historia más o menos utópico, pues es asumiendo cierto potencial de cambio cuando es posible adaptarse a un mundo que nos sorprende día a día. Un modelo que dé protagonismo a la ciudadanía para intervenir, construir y ser construida en un contexto de apoderamiento continuo, ya que en la participación surge la verdadera democracia. Un modelo fundamentado en el diálogo entre saberes que favorez-

ca el rigor y la reflexión, pues es desde la conexión entre diversidad de conocimientos desde donde podemos aproximarnos a la comprensión del mundo. Se trata, en definitiva, de la apuesta por una revisión continua de aquello que entendemos por educación científica.

Damos por concluido este texto en septiembre de 2010. La palabra crisis nos ha acompañado durante los dos últimos años, impregnando la mayoría de ámbitos de nuestra vida. Continuamos convencidos de que, ahora más que nunca, es el momento de buscar oportunidades, de reinventar la educación en general, y la educación científica en particular, para construir un contexto de oportunidad. En este proceso no vamos a renunciar a la historia, sino a buscar nuevas reglas y nuevos enfoques. Pensamos que la educación científica es una educación del compromiso social que se erige en plataforma al servicio de la ciudadanía, una educación capaz de analizar el propio contexto en el que se desarrolla e identificar los límites y las posibilidades que se presentan frente a los retos planteados en el tiempo en que vivimos.

Investigación realizada con el soporte de:
 MCYT: EDU2009-13893-CO2-01EDUC
 AGAUR (Conselleria d’Innovació, Universitats i Empreses): 2009SGR331

NOTAS

1. Serie televisiva de divulgación de la fauna autóctona.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGAZZI, E. (1996). *El bien, el mal y la ciencia*. Madrid, Spain: Tecnos.
- ALMANSA, F. (1997). La cuestión ética de la cooperación internacional, en Goikoetxea J. y García J. (coords.). *Ensayos de pedagogía crítica*, pp. 142-152. Madrid: Popular.
- AUGÉ, M. (1998). *Los «no lugares»; espacios del anonimato*. Barcelona: Gedisa.
- BAUMAN, Z. (2005). *Identitat. Converses amb Benedetto Vecchi*. València: Universitat de València.
- BAUMAN, Z. (2007a). *Temps líquids, Viure en una època d'incertesa*. Barcelona: Viena Edicions.
- BAUMAN, Z. (2007b). *Vida de consumo*. Madrid: Fondo de Cultura Económica.
- BECK, U. (1997). *La sociedad del riesgo, hacia una nueva modernidad*. Barcelona: Paidós.
- BECK, U. (2002). *La sociedad del riesgo global*. Madrid: Siglo Veintiuno de España Editores.
- BONIL, J., CALAFELL, C., MARQUEZ, C. y PUJOL, R.M. (2004a). La integración del paradigma de la complejidad a la formación científica como vía de acceso a la ambientación curricular: las preguntas mediadoras y el diálogo disciplinar, en Geli, A.M. y Junyent, M. (eds.). *Ambientalización Curricular de los Estudios Superiores*, pp. 187-208. Girona: Universitat de Girona - Red ACES.
- BONIL, J. y PUJOL, R.M. (2008). El paradigma de la complejidad, un marco de referencia para el diseño de un instrumento de evaluación de programas en la formación inicial de profesorado. *Enseñanza de las Ciencias*, 26(1), pp. 5-22.
- BONIL, J., SANMARTÍ, N., TOMÀS, C. y PUJOL, R.M. (2004b). Un nuevo marco para dar respuesta a las dinámicas sociales: el paradigma de la complejidad. *Investigación en la Escuela*, 53, pp. 5-19. Sevilla: Díada.
- CAPRA, F. (1996). *La trama de la vida, una nueva perspectiva de los sistemas vivos*. Barcelona: Anagrama.
- CASTELLS, M. (1997). Flujos, redes e identidades: una teoría crítica de la sociedad informacional, en Castells, M., Flecha, R., Freire, P., Giroux, H., Macedo, D. y Willis, P. *Nuevas perspectivas críticas en educación*, pp.13-54. Barcelona: Paidós.
- DAVIS, B. y SUMARA, D. (2007). Complexity Science and Education: Reconceptualizing the Teacher's Role in Learning *Interchange*, 38(1), pp. 53-67.
- DAVIS, B. y SUMARA, D. (2008) Complexity as a theory of education. *Transnational Curriculum Inquiry* 5(2) <<http://nitnat.library.ubc.ca/ojs/index.php/tc>>. 20 octubre 2010.
- ECHEVARRÍA, J. (1998). *Filosofía de la ciencia*. Barcelona: Akal.
- GARCÍA, J.E. (1998) *Hacia una teoría alternativa de los contenidos escolares*. Sevilla: Díada.
- GARCÍA, A.R. y LÓPEZ, A.M. (2004). Complejidad, no linealidad y Didáctica de las Ciencias. *Investigación en la Escuela*, 53, pp. 53-69.
- GONZÁLEZ, M., LÓPEZ, J.A. y LUJAN, J.L. (2000). *Ciencia, Tecnología y sociedad, una introducción al estudio social de la ciencia y la tecnología*. Madrid: Tecnos.
- HOTTOIS, G. (1991). *El paradigma bioético, una ética para la tecnociencia*. Barcelona: Anthropos.
- IZQUIERDO, M., ESPINET, M., GARCÍA, M.P., PUJOL, R.M. y SANMARTÍ, N. (1999). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, pp. 79-92.
- IZQUIERDO, M., ESPINET, M., BONIL, J. y PUJOL, R.M. (2004). Ciencia escolar y complejidad. *Investigación en la Escuela*, 53, pp. 21-29.
- LIPOVETSKY, G. (1987). *La era del vacío: Ensayos sobre el individualismo contemporáneo* (2.^a ed.). Barcelona: Anagrama.
- LOVELOCK, J. (2007). *La venganza de la Terra. Per què es revolta la Terra i com encara podem salvar la humanitat*. Barcelona: Columna.
- LUJAN J.L. (1989). Tecnología, ciencia y sociedad, proceso a la epistemología popular. *Anthropos*, pp. 94-95, pp. 81-86.
- MAYER, M. (2002). Ciudadanos del barrio y del planeta, en Imbernon, F. (ed.). *Cinco ciudadanías para una nueva educación*, pp. 83-104. Barcelona: Graó.
- MAYOR, F. (2009). La problemática de la sostenibilidad en un mundo globalizado. *Revista de Educación, número extra*, 1, pp. 25-52.
- MÈLICH, J.C. (2008). Filosofía y educación en la postmodernidad, en Hoyos Vásquez, G. (ed.). *Filosofía de la educación. Enciclopedia Iberoamericana de Filosofía*, 29, pp. 35-53. Madrid: Trotta.
- MÉNDEZ R. (1989). La filosofía de la tecnología del s. xx. *Anthropos*, pp. 94-95, pp. 27-35.
- MITCHAM, C. (1989). El desarrollo institucional actual de la filosofía de la tecnología. *Anthropos*, pp. 94-95, pp. 8-12.
- MORLEY, D. (1998). El posmodernismo: Una guía básica, en Curran, J., Morley, D. y Walkerdine, V. (eds.). *Estudios culturales y comunicación: Análisis, producción y consumo cultural de las políticas de identidad y el posmodernismo*, pp. 85-107. Barcelona: Paidós.
- NIÑO, S. (2009). *El crash del 2010: Toda la verdad sobre la crisis*. Barcelona: Debolsillo.
- SANMARTÍN, J. (1992). *Los nuevos redentores, reflexiones sobre la ingeniería genética, la sociobiología y el mundo feliz que nos prometen*. Barcelona: Anthropos.
- SAUVÉ, L. (2006). La educación ambiental y la globalización: Desafíos curriculares y pedagógicos. *Revista Iberoamericana de Educación*, 41, pp. 83-101.
- SPAEMANN, R. (2007). *El final de la modernidad*. Barcelona: CEU Ediciones.
- TERRADAS, J. (2005). *Biografía del món de l'origen de la vida al col·lapse ecològic*. Barcelona: Columna.

[Artículo recibido en marzo de 2010 y aceptado en diciembre de 2010]

Science Education and the Word *Crisis*

BONIL, JOSEP y PUJOL, ROSA MARIA

Grup de Recerca Còmplex. Departament de Didàctica de la Matemàtica i de les Ciències Experimentals. Universitat Autònoma de Barcelona

josep.bonil@uab.cat

rosamaria.pujol@uab.cat

Summary

The word *crisis* has taken an enormous social relevance. Through it we can glimpse a situation that incorporates several dimensions, among which we highlight a socio-environmental crisis, a sociocultural crisis and a socio-scientific crisis.

The socio-environmental crisis is reflected in global asymmetries that trigger migratory movements, social conflicts of varying intensity and ecosystem deterioration. We are facing a global situation with major imbalances, in a context that obliges us to address actions at two speeds: one of extreme urgency, in order to combat unequal food distribution and the impact of war; and another of high urgency, intended to prevent global environmental deterioration. Contemporary society is characterised as a risk society owing to a utilitarian relationship model between individuals and the environment.

This crisis in values leads us to the new scenario of Postmodernity. Postmodernity questions modern values such as progress, freedom and knowledge-building. From the viewpoint of Postmodernity it no longer makes sense to refer to a single progress because there are multiple progresses. Freedom becomes an object of consumption linked to the options open to individuals. Postmodernity proposes the end of the distinction between subject and object. Thus, knowledge is built in cultural contexts in which languages gain relevance. Aspects such as the meaning of time, economic and political organisation, uncertainty, identity-building and plurality of lifestyles are becoming the new structural axes of society.

The new social positioning of scientific activity has encouraged the emergence of technoscience. Technoscience is an activity that spurs the emergence of the ethical conflict due to the consequences of human actions in both natural and social environments. This prompts society to question the relationship between the technoscientific project and human responsibility. The social status of scientific disciplines is challenged as a result.

The three above mentioned crises raise a question: What sort of Science Education can provide citizens with the skills that will enable them to transform crisis scenarios into opportunity contexts? We believe complexity to be a solid proposal for devising the solution.

Transforming crises into spaces for generating opportunities demands that we act with an innovative spirit: by designing actions sustained not in a vacuum, but rather in frames of reference that make it possible to fill them with meaning and to evaluate their impact. Complexity adds a new focus that makes it possible to enrich Science Education and gives social relevance to it. To do so, it is vital to refocus the way in which the Science Education curriculum answers the questions «What to teach?» and «How to teach?»

From complexity, a Science Education curriculum is selected which, with respect to «What to teach», is based on conceptual models that take the form of complex systems. The introduction of complexity transforms the phenomena of the world into opportunities for establishing dialogue between identities and patterns, entities and relationships, multi-causes and multi-effects, stability and change, structures and organisations, limits and possibilities, randomness and determinism. It is clear then that by incorporating complexity into teaching demands we accept a change in the rules for viewing the world. It involves changing our way of selecting phenomena and discovering and interpreting their dynamics.

As for «How to teach», complexity opens the door to a Science Education that creates dialogue between phenomena and subject matter, that is disciplining and trans-disciplining, that provides information and questions, rigour and spontaneity, reason and emotion, reflection and action, contents and competences, vertical and horizontal management. Complexity stimulates personal autonomy, sparks interest in knowledge and the search for reasons to justify the models themselves. In short, it presents a new way of understanding classroom dynamics.

A curriculum that incorporates the principles of complexity is a curriculum built on wisdom; the reflection of an institution that feels itself to be the builder of culture and offers resistance to the predominant culture; in which Science Education may indeed become the driving force for change. Complexity can become the crystallising core, creating new ethics, new thought and transformational action that can help build the future. For this reason, incorporating complexity into Science Education is an important step beyond occasional change. It is a sweeping transformation of the way of understanding Science, Science Education and the social role of education.