

# PROBLEMÁTICA DE LA ENSEÑANZA

## EL ACCIDENTE RADIOACTIVO DE GOIANIA: UNA EXPERIENCIA EN LA ENSEÑANZA DE CTS UTILIZANDO EL APRENDIZAJE CENTRADO EN EVENTOS.

SONIA MARÍA S. C. DE SOUZA CRUZ

ARDEN ZYLBERSZTAJN

Departamento de Física – CFM. Universidade de Santa Catarina  
88040-900 Florianópolis SC. Brasil

### RESUMEN

El enfoque CTS (Ciencia, Tecnología y Sociedad) está fundamentado en la proposición de que la enseñanza de ciencias, además de proporcionar conocimientos para comprender los fenómenos de la naturaleza, también debe considerar las relaciones entre la ciencia, la tecnología y la sociedad. Este trabajo presenta un estudio de caso que tuvo como objetivo investigar las posibilidades didácticas del abordaje Aprendizaje Centrado en Eventos (ACE), dentro de este enfoque. La idea que fundamenta este abordaje es la de que los conceptos científicos y sus aplicaciones tecnológicas, así como sus relaciones con lo social, pueden ser explotados mejor si el aprendizaje de los mismos es centrado en eventos que funcionan como un polo de integración de la triada Ciencia-Tecnología-Sociedad. El accidente Radiactivo de Goiania fue el hecho escogido para integrar conceptos científicos, tecnológicos y sociales relacionados a la cuestión de la radioactividad, en una clase de 30 alumnos (13 a 15 años de edad). Como resultados puede destacarse el aumento de la participación de los alumnos en las actividades didácticas, la buena aceptación de la propuesta por parte de alumnos y profesores y el enriquecimiento de la misma a través de la contribución de los profesores de diferentes áreas, más allá del favorecimiento de condiciones para el trabajo interdisciplinar.

### ABSTRACT

The approach CTS (Science, Technology and Society) is based on the proposition that sciences teaching, in addition to providing knowledge to understand the phenomena of nature, it must also consider the relationships between Science, Technology and Society. This work presents a study of a case that has as its objective to investigate the didactic possibilities within the approach of the Learning Centered in Events (ACE). The idea on which this strategy is based, is that the scientific concepts and their technological applications, as well as that their relationships to what is social, can be better exploited if the learning of these concepts is centered in events that operate as an integration pole of the triad Science - Technology - Society. The Radioactive accident of Goiania was the event chosen to integrate scientific, technological and social concepts related to the issue of the radioactivity, in a class of 30 pupils (13 to 15 years old). As a set of results, can be emphasized the increase in the participation of the pupils in the didactic activities, the good acceptance of the proposal by the pupils and teachers, and the enrichment of the teachers through the contribution of teachers from different areas, beyond the creation of conditions for the interdisciplinary work.

## 1. EL ENFOQUE CTS (CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD).

Según una perspectiva educacional amplia, el papel más importante a ser cumplido por la educación formal es el de habilitar al alumno a comprender la realidad a su alrededor (tanto desde el punto de vista de los fenómenos naturales como sociales), de modo que pueda participar de forma crítica y consciente de los debates y decisiones, que permean la sociedad en la cual se encuentra inserto. Se trata de una perspectiva basada en argumentos para la promoción de la alfabetización científica para la población en general, lo que ofrece una base racional para que la enseñanza de ciencias se vuelva tan relevante como sea posible para un público más amplio.

Tradicionalmente, las ciencias son enseñadas a través de sus componentes (física, química y biología) consideradas de forma separada y fragmentada. Esto ocurre no sólo en la enseñanza media, donde la separación es formalizada desde el punto de vista burocrático-administrativo, sino también en la enseñanza fundamental, donde, a pesar de haber una disciplina llamada "Ciencias", resulta dividida en la práctica, en sus componentes. Otro aspecto a considerar es que las ciencias son generalmente enseñadas con escasas referencias a sus aplicaciones a la vida real y de su relevancia en la vida personal de los alumnos. Dentro de este cuadro el conocimiento científico es tratado como neutro, objetivo y esencialmente factual. Así, la ciencia pasa a ser vista como un conocimiento objetivo, abstracto e impersonal: como una racionalidad técnica universal con la propiedad de ser directamente aplicable a innumerables situaciones. Es una visión del conocimiento como algo generalizable y no problemático. Este cuadro tradicional ha sido blanco de críticas por parte de amplios sectores preocupados con la enseñanza de las ciencias, que defienden una educación científica fundamentada en la acción y en la integración social:

*"El conocimiento (científico) debe ser colocado al lado de los otros conocimientos, y ser encarado como inseparable de las conexiones social e institucional, y debe ser valorado tanto en función de referencias a su validez universal, como por su utilidad en resolver un problema más a mano." (Jenkins 1994, p. 609)*

Esta manera de abordar la ciencia y su enseñanza asume la necesidad de integrar el mundo de los participantes (alumnos y profesores), y de incorporar y relacionar sus preocupaciones para que, con esto, aumente su capaci-

dad de resolver problemas. Cuando se considera la forma cada vez más poderosa a través de la cual la ciencia y la tecnología influyen en la vida cotidiana, se vuelve clara la necesidad de una educación científica que permita un compromiso con temas relacionados con esta influencia, que posibilite juicios, que sugiera acciones prácticas y aplicaciones locales, y que sea más rica en valores. Dentro de este contexto, algunos autores asumen que:

*"Además de propiciar conocimientos para comprender los fenómenos de la naturaleza, las disciplinas científicas deben desarrollar la capacidad de los alumnos para que asuman posiciones en relación a problemas controvertidos y que actúen en el sentido de resolverlos. (...) Un debate sobre las implicaciones sociales del desarrollo científico y tecnológico involucra tanto aspectos que dependen de conocimientos factuales y técnicos como posiciones fundamentadas por convicciones políticas, éticas, religiosas, etc..." (Krasilchik 1985, p. 8)*

La propuesta de una enseñanza de ciencias que tome en cuenta tales aspectos ha sido el objeto de lo que devino conocido como el enfoque CTS (Ciencia, Tecnología y Sociedad). En las naciones que forman parte del así llamado Primer Mundo, la preocupación por este enfoque no es reciente, habiéndose acentuado en la década del '80. El interés por el enfoque en el área de la enseñanza de ciencias, a nivel internacional, motivó al International Journal of Science Education a publicar una edición especial en la cual CTS era el foco, en 1988. A este respecto se puede llamar la atención sobre la existencia de la IOSTE (International Organization for Science and Technology Education), que desde su creación, en 1979, realizó ocho simposios internacionales, siendo el último en Canadá en 1996.

La diseminación del enfoque CTS llevó a algunos autores, como por ejemplo Yager (1996), a considerarlo como un nuevo movimiento de reforma curricular, por lo menos en el contexto de la educación norteamericana. Según esta línea el enfoque CTS no es sólo una forma especial de educación, como la educación ambiental y la educación para la salud, y tampoco es apenas una manera de ordenar y seleccionar contenidos en la curricula: es una reforma educativa que implica un cambio de gran alcance, en el cual el dominio de los contenidos deja de ser el objetivo central. Para autores en esta línea, CTS se basa en el desarrollo de actividades con énfasis en la toma de decisiones, rela-

cionadas con aspectos sociales del mundo real que tienen un contenido importante de ciencia y de técnica; el contenido científico es construido teniendo como base la necesidad de conocer, que también pruebe al alumno de capacidad de razonamiento crítico para considerar otros aspectos importantes involucrados en la situación (Schwartz et al. 1994). Aunque voces aisladas, como por ejemplo en la cita arriba de Krasilchik 1985, ya hayan defendido la necesidad de considerarse las implicaciones sociales de la ciencia y de la tecnología en la enseñanza, sólo recientemente se han vuelto más frecuentes las referencias al enfoque CTS como algo a ser contemplado dentro de un cuadro de renovación de la enseñanza de las ciencias en Brasil (Santos y Schnetzler 1997; Amaral 1998; Domingues et al. 1998).

## 2. EL APRENDIZAJE CENTRADO EN EVENTOS.

El enfoque CTS tiene bastantes facetas en lo que se refiere a estrategias de enseñanza. Por un lado, existe entre sus proponentes una razonable concordancia sobre la importancia de, paralelamente a los cambios relativos a los objetivos de la educación científica, establecer alteraciones de orden metodológico que favorezcan abordajes interdisciplinarios e interactivos. Por otro, esto ha llevado a una diversidad de estrategias de enseñanza, reflejando el hecho de que CTS no debe ser confundido con un método particular de enseñanza:

*"En los cursos de CTS, varias estrategias de enseñanza han sido utilizadas. Esta va más allá de las prácticas actuales, charlas, demostraciones, sesiones de cuestionamiento, solución de problemas y experimentos en laboratorio. La enseñanza de CTS incluye juegos de simulación y desempeño de papeles, foros y debates, proyectos individuales y de grupo, redacción de cartas para autoridades, investigación en el campo de trabajo, expositores invitados y acción comunitaria. Generalmente, el cambio en las estrategias cambia el papel del profesor por el de administrador de la clase (gerenciando el tiempo, los recursos humanos y el ambiente emocional de la clase, más allá del papel de responsable por la sala de clase)." (Hofstein, et al. 1988, citado por Santos y Schnetzler 1997, p. 83)*

Este artículo se basa en un estudio de caso que tuvo como principal preocupación investigar las posibilidades didácticas de un abordaje denominado Aprendizaje Centrado en Eventos (ACE), concebido como un formato particular

para la enseñanza de asuntos científicos y tecnológicos en sala de clase (Watts et al. 1997). Este fue delineado como un evento en particular, acontecimiento o conjunto de circunstancias tomadas de la vida real y usadas como base en la elaboración de módulos para la enseñanza. De especial interés son los eventos ricos en oportunidades curriculares, esto es, aquellos eventos a partir de los cuales se puedan trabajar un mayor número de asuntos. La esencia del abordaje se encuentra en la elección de los eventos que serán la base de los materiales de enseñanza. A partir de esta perspectiva un "evento" debe ser sobresaliente y evocativo, esto es, debe ser un incidente o episodio que sea motivador, rico por su "interés humano", capaz de estimular la discusión y el debate.

La idea básica que fundamenta este abordaje es la de que tanto los aspectos científicos, como las implicaciones sociales de un producto tecnológico pueden ser explotados mejor si el aprendizaje de los mismos es centrado en eventos que tengan la potencialidad de capturar la atención del alumno. Esto porque el evento puede funcionar como un polo de integración para el tratamiento de la triada Ciencia-Tecnología-Sociedad.

Las principales características del ACE son: el énfasis en la resolución de problemas reales, la responsabilidad del alumno en el aprendizaje, y la naturaleza integrada de los conocimientos. Una forma común en los abordajes tradicionales es la de enseñar "ciencia" primero, para que enseguida (en las raras ocasiones en que esto realizado) se discutan las aplicaciones tecnológicas e implicaciones sociales. En el ACE, el evento se encuentra en el centro de la experiencia de aprendizaje y de él derivan los demás elementos.

Otra premisa es la de que el conocimiento de los alumnos es organizado de forma que sirva para la comprensión de nuevas experiencias. El contenido y el planeamiento de los módulos es concebido tomando en cuenta la posibilidad de que los alumnos presenten concepciones alternativas sobre las nuevas ideas que irán a estudiar. El ACE se presenta como una forma apropiada de favorecer el desentrañamiento de estas concepciones así como su exploración dentro de una atmósfera de discusión no amenazadora y sí constructiva.

Es importante destacar que el ACE es nítidamente distinto de la práctica normal de enseñanza de disciplinas científicas, basándose princi-

palmente en actividades y no en clases expositivas tradicionales. El objetivo es integrar conceptos científicos con temas tecnológicos y sociales, a través de una forma que permita a los alumnos tomar decisiones en relación a cuáles informaciones necesitan y cómo pueden utilizarlas. En este contexto el papel de los profesores es básicamente orientar y supervisar.

### 3. EL ESTUDIO DE CASO.

#### 3.1. ESPACIO PARA LA APLICACIÓN.

Con finalidad de investigación fue desarrollado un módulo de enseñanza denominado "El accidente Radioactivo de Goiânia". El módulo fue aplicado, con carácter experimental, en una clase de octavo año de enseñanza primaria, compuesta de 30 alumnos con edades entre 13 y 15 años, en una escuela de la red privada. Las actividades que involucraron a los alumnos se desarrollaron en cinco semanas, al final del año lectivo 1998. Durante este período fueron ocupadas en promedio seis clases semanales, divididas entre las disciplinas, Ciencias, Geografía y Portugués. Esto significa que aproximadamente la mitad de las clases de cada disciplina fue dedicada al trabajo con el módulo.

Las razones para la elección de este espacio para la aplicación del módulo tomaron en cuenta, aspectos tales como:

- **Impacto debido a su interferencia en el ambiente escolar.** Evaluamos cuál sería el año en la enseñanza básica que absorbería mejor el impacto de una experiencia puntual (con plazo determinado y que no exigiese necesariamente una continuidad) que introduce modificaciones en el enfoque, en la metodología, en el contenido de actividades y que inserta personas ajenas al ambiente escolar;

- **Nivel de abstracción.** El abordaje al cual los alumnos estarán sometidos, les exige de inmediato una ampliación de sus referencias para que trabajen la vinculación y unidad entre el conocimiento científico y los aspectos sociales y tecnológicos. Como esa exigencia es inmediata, necesitamos trabajar con alumnos que tengan un cierto nivel de abstracción. Tradicionalmente las propuestas curriculares para la enseñanza básica, de 1° a 8° año, tienen como base la organización secuencial de contenidos y actividades. Estos son sistematizados y operacionalizados en niveles de acciones que involucran una graduación de la complejidad que toma en consideración el interés, las

necesidades y el desarrollo psicológico del alumno. Considerando esto, evaluamos que, teóricamente, los alumnos de 8° año son los más preparados para enfrentar los aspectos planteados anteriormente, debido a su desarrollo intelectual.

#### 3.2. ELECCIÓN DEL EVENTO.

El evento centralizador escogido fue el Accidente Radioactivo de Goiânia (Ver Apéndice al final del artículo para una descripción resumida). La opción por un tema relacionado a la tecnología nuclear se asoció al evidente poder emotivo del asunto, y por permitir también la cobertura de una vasta gama de aspectos, como los ligados a la responsabilidad social, a la salud pública, al riesgo social y personal, más allá de lo científico y tecnológico. Los asuntos relacionados a la temática nuclear son motivo de preocupación internacional y local, debiéndose llamar la atención sobre el hecho de que aún países emergentes como Brasil, no están al margen de los problemas traídos por el desarrollo científico y tecnológico, siendo tal vez más afectados por los mismos que las naciones que, debido a su mayor grado de desarrollo y poder económico, consiguen ejercer mayor control sobre efectos indeseables.

Debe destacarse que los asuntos ligados a la tecnología nuclear no reciben la debida atención en las escuelas brasileñas. Un estudio realizado a fines de la década del '80 (Nunes y Zylbersztajn 1991; Nunes 1991) reveló que alumnos que concluyeron la enseñanza media en la ciudad de Florianópolis no conseguían explicar satisfactoriamente el funcionamiento de las usinas nucleares, termoeléctricas e hidroeléctricas, o aún los accidentes de Goiânia y Chernobyl. Otros estudios realizados en Brasil (Souza Barros 1989) y en el exterior (Eijkelhoff y Millar 1988; Conforto 1989; Linse et al. 1990; Martins 1992) mostraron resultados similares en el sentido de que los temas nucleares son pobremente entendidos por estudiantes, periodistas y población en general.

#### 3.3. SITUACIÓN-PROBLEMA.

Como situación-problema para los alumnos fue propuesta inicialmente, la elaboración de un guión para un programa de TV sobre el accidente de Goiânia, a ser desarrollado por grupos compuestos por cuatro o cinco alumnos. El programa debería destacar los aspectos científicos,

tecnológicos y sociales ligados al evento, y tener un carácter educativo, no sensacionalista y ser dirigido al público lego. El objetivo de esa actividad era llevar los alumnos a construir la integración de los conceptos científicos con los temas tecnológicos y sociales.

### 3.4. MATERIAL DE APOYO.

Para componer el módulo fueron producidos dos textos de apoyo: El Accidente Radioactivo de Goiania y Radiación Nuclear. El primero tiene por objetivo presentar un relato del accidente y de sus consecuencias situando al hecho como acontecimiento social y evocando cuestionamientos sobre el impacto social de la ciencia y la tecnología. Su elaboración, siguiendo las premisas del abordaje CTS, fue orientada de forma tal que permitiese la necesidad de una profundización de los conocimientos científicos para una mayor comprensión del acontecimiento social.

El segundo texto, Radiación Nuclear, profundiza los conceptos científicos necesarios y, al mismo tiempo, da una visión de la ciencia como un proceso de construcción del entendimiento. Esos objetivos posibilitaron la definición del enfoque que sería dado al texto. En el enfoque escogido no consideramos desde un principio una definición de radiación. El concepto de radiación fue reconstruido históricamente a partir de los primeros estudios experimentales sobre el fenómeno. De esta forma, presentamos el fenómeno y los modelos teóricos sucesivos que llevaron al concepto moderno de radiación, así como a un modelo para la materia y su interacción con la radiación. Con eso pudimos trabajar contenidos que forman parte de la curriculae del octavo año de la enseñanza básica (átomos, moléculas, isótopos, iones) y conceptos que son importantes para entender los efectos tecnológicos y sociales de la radiación (protección radiológica, efectos biológicos y aplicaciones de la radiación). La reconstrucción didáctica presente en el texto permitió además ofrecer un abanico más amplio de elementos para que los alumnos construyesen sus representaciones conceptuales del proceso de producción científica y de las implicaciones de la actividad científica junto a la sociedad.

### 3.5. APLICACIÓN: LOS PROFESORES.

Las actividades con los alumnos fueron precedidas por encuentros con los profesores que

irían a participar del estudio (6 encuentros con una duración de alrededor de 90 minutos cada uno) para presentar el enfoque CTS, el abordaje ACE, el material para trabajar los contenidos y, principalmente para discutir el papel y el trabajo de cada maestro en el sentido de estimular el carácter interdisciplinar del trabajo.

Teniendo en vista el contexto del evento y de la actividad, fueron involucradas, en el proyecto las profesoras de Ciencias, Geografía y Portugués, que trabajaron sobre el mismo tema; sin embargo explotaron aspectos diferentes. La profesora de Ciencias debería proponer actividades para facilitar el entendimiento de los conceptos vinculados a la enseñanza de Ciencias y destacar el impacto tecnológico de los mismos. A la profesora de Geografía cabería explorar el impacto social que plantea el entendimiento del fenómeno de la Radiación, destacando las cuestiones de responsabilidad, normatización y fiscalización en el uso de materiales radioactivos. La profesora de Portugués tendría como responsabilidad promover sesiones de lecturas y discutir el significado de atender un público lego, esto es, trabajó el uso de diferentes lenguajes (cotidiano, científico y técnico), destacando que la transición de un lenguaje científico a un lenguaje común solamente es posible si entendemos los conceptos involucrados en el fenómeno que queremos destacar. Ella debería colaborar también con los alumnos en la definición y en la forma del trabajo final.

Las profesoras, aún revelando interés con la nueva perspectiva presentada por la propuesta, inicialmente se mostraron preocupadas con su falta de dominio sobre el asunto, y también sobre cómo promover la integración de los conceptos científicos con los aspectos tecnológicos y sociales. Es importante aclarar que CTS era un abordaje nuevo y desconocido para las mismas, según se pudo constatar en las primeras conversaciones.

El trabajo preliminar con los textos, las discusiones y nuestro acompañamiento las dejaron relativamente más seguras en relación al contenido. Con relación a la integración, se destacó que una de las premisas era que pudiese ser promovida a partir del formato de las actividades previstas en el abordaje. Para ello, a lo largo del desarrollo de las mismas los alumnos tendrían que pasar por momentos de discusiones, de toma de decisiones con respecto a la necesidad de informaciones, y de cómo utilizarlas para volver o hacer posible la integración. La tarea de cada profesora tuvo como meta viabilizar un

ambiente propicio para que ello ocurriese.

Durante los encuentros preliminares las profesoras también evaluaron los textos y sugirieron orientaciones sobre cómo trabajar el material con los alumnos. Las mayores colaboraciones en este sentido fueron de las profesoras de Geografía y Portugués. Conociendo el nivel y el tipo de lectura a que los alumnos estaban habituados, las dos desaconsejaron la distribución al mismo tiempo de los dos textos largos y con mucha información y el impacto por la cantidad de lecturas podría disminuir la motivación. La profesora de Portugués además planteó que el texto *El Accidente Radioactivo de Goiania* podía funcionar como un agente motivador para la lectura del texto de contenidos. Esto porque lo veía como un generador de indagaciones que podrían ser referidos al texto *Radiación Nuclear*.

### 3.6. APLICACIÓN: LOS ALUMNOS.

Inicialmente fueron desarrolladas dos actividades con los alumnos: la primera fue una redacción que tuvo como tema el accidente radioactivo de Goiania para evaluar el conocimiento de los alumnos sobre el mismo; la segunda fue la aplicación de un cuestionario que incluía cuestiones sobre el tema radiación nuclear, cuyo objetivo era verificar el nivel de entendimiento sobre el fenómeno y tener un instrumento para evaluar la evolución o no de las ideas de los alumnos con relación a los conceptos involucrados.

El trabajo de las profesoras de Geografía y Portugués con los alumnos merece destacarse, pues se involucraron de forma efectiva con el abordaje, proponiendo actividades y orientaciones. Por ejemplo, la profesora de Portugués, en las sesiones de lectura de los textos de apoyo, llamaba la atención sobre los puntos importantes planteando sus dudas o cuestionando, destacando puntos que no había entendido y estimulando la búsqueda de explicaciones con los alumnos. Un ejemplo de su planteo fue cuando cuestionó el porqué hacer pasar la radiación a través de un campo magnético siendo que la misma es algo invisible. O aún, cuando llevó la discusión a otros contextos, como sucedió durante la lectura sobre contaminación del suelo con el cesio. Ella interrumpió la lectura para exponer una idea que se le ocurrió en el momento, respecto de la cantidad de pilas y baterías que van para los basureros municipales diariamente. Cuestionó si la pérdida de material químico, altamente tóxico que las pilas contienen no podría provo-

car un accidente de serias consecuencias. Esa intervención fue altamente motivadora y desencadenó una serie de discusiones.

También merece destacarse la forma encontrada por la profesora de Geografía para vincular el trabajo de su disciplina con el acontecimiento. El día anterior a una de sus clases, un domingo, un programa de TV la hizo recordar cómo había contextualizado los contenidos de la disciplina al comienzo del año. Discutiendo el contexto del reportaje (volcanes y huracanes) la gran mayoría de los alumnos recordaron que ella había vinculado el contenido con la frase "Las ideas de las personas están presentes en los paisajes!". Con eso, hizo que los alumnos recordasen el contexto de la frase y preguntó si el accidente de Goiania se encajaba en el contexto de la frase, presentando de esta forma, aspectos que podrían ser explorados en Geografía. Algunos alumnos respondieron afirmativamente, y a partir de este punto planteó como actividad en grupo la enumeración de esos aspectos. Un alumno señaló que "el antes" del accidente tenía que ver con un paisaje que podía ser descrito como un barrio dentro de la normalidad; "el durante", presentaba un paisaje turbulento con enfermedad, muerte rechazo y pavor; "el después" un paisaje de destrucción y muy sombrío, un área aislada. Además señaló que la situación del accidente era más insurgente porque podría haber sido evitado.

Estos planteos sirvieron de gatillo para discusiones relacionadas con cuestiones de responsabilidad, de normatización, de información y de aplicaciones de la radiación. Las discusiones de esas cuestiones se mantuvieron por varios encuentros, siendo que al final de cada uno de ellos los alumnos debían preparar un relato escrito sobre los puntos discutidos.

En cuanto al trabajo con los conceptos científicos propiamente dichos, fueron efectivamente trabajados en clase por uno de los autores de este artículo (SMSC), pues la profesora de Ciencias, aún teniendo una evaluación positiva del material y asumiendo que el mismo le hizo entender mejor los conceptos que usualmente ella trabajó con los alumnos, no asumió el trabajo y simplemente, cedía algunas de sus clases para que fuesen desarrolladas por la investigadora. Argumentó que tenía como obligación cumplir con el programa, presentado y discutido con los alumnos al comienzo del año, y creía que no podría dejar de cumplirlo, pues se sentía cambiando las reglas establecidas. En su opinión, el desarrollo del proyecto debería ser planeado y

discutido con los alumnos al comienzo del año.

### 3.7. RESULTADOS.

La primera actividad realizada en sala de clase (redacción sobre el accidente radioactivo de Goiania) 14 de los 30 alumnos escribieron que no sabían nada sobre el accidente y nada habían oído sobre el asunto; algunos, inclusive, se mostraron sorprendidos por haber sucedido un accidente radioactivo en Brasil. Siete alumnos escribieron que habían oído menciones sobre el accidente de Goiania, pero no recordaban detalles. Seis alumnos tenían recuerdos del accidente causado por un pedazo o piedra de cesio abandonada en un depósito de basura. Tres alumnos escribieron de forma un poco más detallada sobre el accidente y sus consecuencias, pero afirmaron, equivocadamente, que había sido provocado por material radioactivo que se encontraba en el interior de una máquina de Rayos X abandonada.

Para que se tenga una visión del nivel de entendimiento de los alumnos sobre el fenómeno radiación, vamos a destacar las respuestas de los alumnos a dos ítems del cuestionario sobre el tema radiación nuclear: ¿Qué efectos tiene la radiación sobre la salud de las personas? ¿Qué diferencia existe entre contaminación e irradiación en el caso de un accidente radioactivo?

Sobre la primera cuestión, 17 alumnos respondieron que no tenían idea de los daños que la radiación puede causar a la salud; un alumno respondió que puede provocar quemaduras, cinco alumnos creían que personas afectadas por la radiación podrían tener cáncer y tres alumnos creían que además del cáncer las personas podrían tener problemas en la piel y en las células; cuatro alumnos respondieron que creían que la radiación podía causar problemas hereditarios.

En la segunda cuestión, 23 alumnos respondieron que nunca habían estudiado el asunto, pero emitieron opiniones como: "Contaminación cuando las personas se quedan enfermas e irradiación cuando las personas mueren" / "Creo que contaminación es algo inmediato e irradiación es a largo plazo" / "Contaminación puede causar efectos irreversibles y hasta fatales, como cáncer; e irradiación puede causar manchas en la piel" / "Contaminación ocurre cuando hay contacto con un elemento radioactivo y la irradiación es cuan-

do la radiación se expande" / "Yo creo que contaminación es cuando la radiación entre en el cuerpo e irradiación es solamente los efectos superficiales".

Un mes después de que los alumnos trabajaron con los textos, en otra actividad involucrando esa misma cuestión, observamos que 80% de los alumnos respondieron, más correctamente, que "Contaminación era cuando las personas estaban impregnadas de material radioactivo y se constituían en una fuente radioactiva; e irradiación era cuando las personas recibían radiación por quedarse cerca de una fuente radioactiva".

Cuando en la discusión con los alumnos sobre la actividad que deberían desarrollar, plantearon si no podían optar por otras formas de divulgación que no fuese un texto para televisión. Aceptamos los argumentos y acabaron produciendo actividades diferenciadas: un grupo produjo una revista de historietas, destacando el accidente de Goiania y sus consecuencias; dos grupos produjeron textos para el periódico de la escuela; un grupo produjo un folleto explicativo sobre radiación y el accidente de Goiania y otro produjo un texto para un programa de TV.

En entrevistas realizadas al final de la aplicación del módulo, tanto los profesores como los alumnos hicieron una evaluación positiva del trabajo y también plantearon puntos que perjudicaron los trabajos. El aspecto más criticado por todos fue la época escogida para realizar el trabajo, en el sentido de que era el final del año, todos ya estaban cansados y muchos alumnos estaban preocupados con exámenes para ingresar al nivel medio.

Un ejemplo significativo de evaluación positiva es el caso del alumno F, uno de los que se mostraba resistente en relación al trabajo conceptual, en cuya entrevista fueron destacados aspectos interesantes para la evaluación del abordaje, de la cual transcribimos algunos puntos:

*Entrevistador- (F) ¿Cómo evaluaría el trabajo desarrollado con el tema radiación?*

*Alumno- "Al comienzo me pareció muy interesante. Yo no tenía ningún conocimiento sobre el accidente. Fue interesante tener informaciones sobre sus consecuencias. Yo no sabía que había grupos que trabajaban con el control del uso de radiación. Quedó diferente al trabajo normal... sentarse, leer y hacer una prueba."*

**Entrevistador-** *En determinado momento, durante el trabajo, usted dijo que el texto Radiación nuclear era pesado. ¿Qué quiso decir usted con pesado?*

**Alumno-** *"El lenguaje no es complicado, pero el texto es muy amplio. Abre muchos frentes de explicaciones. Creo que podía ser más directo al principio. Así como nuestros textos."*

**Entrevistador-** *¿Qué le pareció la actividad propuesta?*

**Alumno-** *"Es mucho mejor, porque usted se siente pasando algo para alguien. También cuando se escribe resulta más fácil el entendimiento, usted usa un lenguaje propio. Otra cosa es que permitió percibir el trabajo del científico y también con el accidente: la teoría no parece algo que está solamente escrito, inventada, o que la profesora dice y usted tiene que creerlo."*

**Entrevistador-** *En determinado momento usted se mostraba sin interés ¿Qué sucedió?*

**Alumno-** *"Fue cuando comenzamos con el texto Radiación Nuclear. Comenzó hablando de átomos. A decir verdad, al comienzo del año cuando la profesora explicó esa materia yo no entendí nada. Pero cuando comencé a leer el texto, sentí que era interesante e importante para entender la aparición de quemaduras, cáncer."*

#### 4. CONCLUSIONES.

Con los resultados obtenidos a través de la observación en sala de clase, de las entrevistas con profesores y alumnos y de los materiales producidos por los alumnos, evaluamos que la propuesta tuvo una buena receptividad y se mostró efectiva para que fuesen alcanzados, aspectos tales como: visualización del proceso de construcción del conocimiento científico, entendimiento de conceptos específicos, involucración de los profesores en forma diferenciada a lo que es su actuación normal en sala de clase, construcción del entendimiento en conjunto entre profesores y alumnos y vinculación de aspectos científicos, tecnológicos y sociales.

El evento mostró ser un instrumento efectivo para motivar la adquisición de conocimientos y de informaciones sobre un determinado tema científico. En las entrevistas con los alumnos, esa efectividad se volvía real en los planteos que señalaban que la discusión de los fenómenos presentes en el evento ayudaba mucho a la com-

prensión. En la concepción de los alumnos, la presentación de los fenómenos relacionados al evento mostró una ciencia presente en lo cotidiano y no sólo en los libros o en las clases de ciencia. Desde el punto de vista de los aspectos conceptuales, el nivel de los trabajos y las respuestas a las diferentes actividades durante la aplicación del módulo de enseñanza indican alteraciones conceptuales significativas.

El entendimiento sobre el proceso de construcción del conocimiento científico, puede ser identificado en los planteos de diferentes alumnos durante la entrevista final. Por ejemplo, la alumna A afirmó en la entrevista realizada al final de la experiencia:

*"El texto me cambió la imagen que tenía del científico. Veía al científico como una persona genial y medio loca. Fue interesante saber que para resolver los problemas, o para proponer teorías siempre usa el conocimiento ya desarrollado y puede equivocarse como cualquier persona."*

Las actividades propuestas, la forma como fueron conducidas las discusiones y la articulación de un contenido diferente al programa normal, mostraron una involucración más efectiva de los profesores de Portugués y Geografía. En las discusiones con la profesora de Ciencias, se percibió una resistencia en relación al trabajo con un abordaje que desplaza el énfasis del conocimiento específico en dirección a la construcción de formas para su aprehensión, pareciendo que existía una preocupación con la pérdida de control sobre cuáles cuestiones serían tratadas. Podemos apenas especular si esta resistencia no estaría vinculada al hecho de que la disciplina Ciencias era la que estaba siendo más cuestionada en sus procedimientos normales.

En la entrevista final con los profesores, fue solicitado el relato de las necesidades imprescindibles para trabajar con el abordaje ACE. Plantearon que sería necesario la definición de un espacio pedagógico, entendido como una actividad didáctica, donde los profesores pudieran discutir, proponer y elaborar módulos de enseñanza que permitiesen la integración de contenidos de diferentes disciplinas dentro del enfoque CTS. También entienden que en la definición, construcción e implementación de un primer módulo, -con profesores para los cuales el enfoque y el abordaje descritos en este artículo son novedades- habría la necesidad del acompañamiento por parte de alguien con formación y experiencia en relación a los mismos.

Estos puntos indican que el ACE es un abordaje viable para trabajar de forma integrada el aprendizaje de aspectos científicos, tecnológicos y sociales, así como es posible a través de él propiciar condiciones favorables para la implementación de iniciativas didácticas de carácter interdisciplinar, según una perspectiva que toma en cuenta las relaciones complementarias e inevitables, que existen entre la didáctica y la interdisciplinariedad (Lenoir 1998).

El abordaje ACE se muestra también como una alternativa posible para la introducción del enfoque CTS, sin la necesidad de promoverse grandes alteraciones en el orden curricular.

Considerando las reconocidas dificultades para la introducción de innovaciones en el ambiente escolar, este punto nos parece particularmente relevante, pues indica la posibilidad de cambios graduales, que pueden ser instrumentos para la preparación de actitudes y habilidades en el sentido de cambios más profundos.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- AMARAL, I. A. Currículo de ciências: das tendências clássicas aos movimentos atuais de renovação. In: SÁ.
- BARRETO, E. S. Os currículos do ensino fundamental para as escolas brasileiras. Editora Autores Associados, Campinas, 1998.
- CONFORTO, A. M. The nuclear issue in the school. *Physics Education*, 24(2), 1989, p. 83-87.
- DOMINGUES, J. L.; KOFF, E. D.; MORAES, I. Anotações de leitura dos parâmetros nacionais dos currículos de ciências In: SÁ BARRETO, E. S. Os currículos do ensino fundamental para as escolas brasileiras. Editora Autores Associados, Campinas, 1998.
- EIJKELHOLF, H. M. C.; MILLAR, R. Reading about Chernobyl: the public understanding of radiation and radioactivity. *School Science Review*, 70 (251), 1988, p. 35-41.
- JENKINS, E. The public understanding of science education for action. *Journal of Curriculum Studies*, 26(6), 1994, p. 601-611.
- KRASILSHIK, M. Ensinando ciências para assumir responsabilidades sociais. *Revista de ensino de Ciências*, 14, 1985, p. 8-10.
- LENOIR, Y. Didática e interdisciplinaridade: uma complementaridade necessária e incontornável. In: FAZENDA, I. (org.) *Didática e Interdisciplinaridade*. Editora Papirus, São Paulo, 1998.
- LIJNSE, P. L.; EIJKELHOLF, H. M. C.; SCHOLTE, R. L. J., Pupils and mass-media ideas about radioactivity. *International Journal of Science Education*, 12 (1), 1990, p. 67-78.
- MARTINS, I. "Pupils and teachers" understandings of scientific information related to a matter of public concern. Unpublished PhD thesis, University of London, 1992.
- NUNES, E. R. e ZYLBERSZTAJN, A. Tecnologia Nuclear X Informação Científica. Atas do X Simpósio Nacional de Ensino de Física, São Carlos, Janeiro de 1991.
- NUNES, E. R. Goiania, Chernobyl e a informação científica entre alunos do 2º Grau. Dissertação de Mestrado, Centro de Ciências da Educação, UFSC, 1991.
- SANTOS, W. L. P. e SCHENTZLER, R. P. Educação em Química: compromisso com a cidadania. Editora UNIJUÍ, Ijuí, 1997.
- SCHWARTZ, A. T.; BUNGE, D. M.; SILBERMAN, R. G.; STANITSKI, C. L.; STRATTON, W. J. & ZIPP, A. P. *Chemistry in Context: applying chemistry to society*. American Chemistry Society, Wm. C. Brown Pub. Dubuque, 1994.
- SOUZA BARROS, S. The Goiania radioactive accident: accident or incident? Paper presented to the ICPE/IUPAP/GIREP and UNESCO International Conference on "Energy Alternative Risk Education", Ballaton, Hungary, September 1989.
- WATTS, M.; ALSOP, S.; ZYLBERSZTAJN, A.; da SILVA, S. M. "Event-Centred-learning: an approach to teaching science technology and societal issues in two countries. *International Journal of Science Education*, 19(3), 1997, p. 341-351.
- YAGER, R. E. History of science/technology/society as reform in the United States. In: YAGER, R.E. (ed), *Science/Technology/Society as Reform in Science Education*. State University of New York Press, New York, 1996.

### APÉNDICE. EL ACCIDENTE RADIOACTIVO DE GOIANIA<sup>1</sup>.

En septiembre de 1987 dos recolectores de residuos invadieron un inmueble abandonado en Goiania, una ciudad de aproximadamente un millón de habitantes a 200 km de Brasilia. En ese local había funcionado una clínica privada de radioterapia. Encontraron un aparato sin uso que había sido dejado por los antiguos propietarios, le sacaron la tapa de plomo y se lo llevaron a sus casas. Del interior del mismo extrajeron una cápsula metálica que contenía 20 g. de clorato de cesio. La cápsula fue abierta liberando el compuesto en polvo, que contenía cesio-137, altamente radioactivo (cerca de 1400 curies de actividad).

La mayor parte del material radioactivo fue esparcido sobre una vieja alfombra, por debajo de dos mangueras y la caja de plomo, que contenía el resto de Cesio fue vendida al propietario de una chatarrería del vecindario. El polvo azul luminiscente, que brillaba en la oscuridad, atrajo la atención de parientes y vecinos. Fue manipulado y se lo rozaron por el cuerpo varias personas, inclusive niños; estas personas fueron contaminadas y expuestas a dosis intensas de radiación. También contaminaron el ambiente local que entonces irradió y/o contaminó a otras. Los primeros síntomas (náuseas, vómitos, dolor de cabeza, diarrea) fueron enseguida sentidos por las personas que tuvieron el contacto más directo con el material radioactivo. Buscaron ayuda en farmacias locales y hospitales, siendo tratadas como víctimas de algún tipo de intoxicación alimenticia. Únicamente luego de dos semanas, después que la esposa del dueño de la chatarrería, conjuntamente con dos empleados, llevaron parte del equipo al Departamento de Vigilancia Sanitaria, la radiación fue identificada. La Comisión Nacional de Energía Nuclear fue informada e inmediatamente envió a Goiania un grupo de especialistas, que incluía médicos. Las primeras medidas tomadas por las autoridades fueron la evacuación y el aislamiento del área contaminada y la remoción de las personas contaminadas, para un tratamiento.

Considerando que cáncer y efectos genéticos pueden aparecer muchos años después de la exposición a la radiación nuclear, es imposible hacer un cálculo preciso del número de víctimas. No menos difícil es evaluar los daños de orden psicológico sufridos por aquéllos más directamente afectados por el accidente. Se sabe que cerca de 111.800 personas fueron sometidas a detectores y 249 presentaron algún grado de contaminación, interna o externa. De éstas, 49 necesitaron hospitalización, de las cuales 21 lo fueron en unidades de terapia intensiva. Con respecto al tratamiento médico, cinco personas directamente expuestas al cesio fallecieron (cuatro inmediatamente después del hecho), y una tuvo un miembro amputado. Seiscientas personas aún están siendo controladas médicamente.

Una investigación promovida por el ministerio público del Estado de Goiás, concluido en 1994, consideró que la Comisión Nacional de Energía Nuclear, el Gobierno Federal, el Estado de Goiás y la Alcaldía de la ciudad de Goiania, deberían ser considerados responsables por el accidente, por no haber cumplido con su deber legal de inspeccionar la clínica cerrada. Cuatro médicos, dueños de la clínica, y un físico empleado por ellos, también fueron considerados culpables.

Debido a sus trágicas consecuencias el accidente de Goiania se volvió mundialmente conocido, a pesar de no haber sido el primero de este tipo. Cuatro años antes, un equipo de terapia que contenía Cobalto-60 (400 curies de actividad) fue llevado a un depósito de chatarra de la ciudad mejicana de Juárez. Las pastillas de cobalto, conjuntamente con pedazos de metal, fueron llevadas a dos hornos altos, donde fueron reciclados en varios ítems. El accidente sólo fue descubierto cuando un camión que cargaba material con acero reforzado, accionó una alarma durante una entrega al laboratorio de Los Álamos, en el estado americano de Nuevo Méjico. La investigación que siguió trazó el origen del material hasta Juárez y reveló un accidente radioactivo de razonable proporción. Cuatro trabajadores del depósito de chatarra habían recibido altas dosis sobre el cuerpo entero y otros dos habían sufrido quemaduras en las manos y pies debido a dosis localizadas. Ninguna muerte fue asociada directamente al accidente, pero efectos genéticos y somáticos retardados no pueden ser descartados.

El accidente de Juárez recibió mucho menos atención pública que su equivalente en Goiania. Se puede especular que, si hubiese habido una mayor divulgación del primero, esto podría haber influido en la prevención del segundo.

<sup>1</sup> Texto extraído de Zylbersztajn, A. y Watts, M. "Not to Commemorate, But to Remember: 10 Years Since the Goiania Nuclear Accident", International Newsletter on Physics Education, 35, November 1997.