

Un enfoque epistemológico de la enseñanza de la Física: una contribución para el aprendizaje significativo de la Física, con muchas cuestiones sin respuesta

Neusa Teresinha Massoni y Marco Antonio Moreira

Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mails: moreira@if.ufrgs.br; massoni@cpovo.net

Resumen: Este trabajo relata un estudio de caso con un profesor de Física de enseñanza secundaria cuyas concepciones epistemológicas, ya identificadas en dos estudios anteriores, fueron consideradas claramente concordes con las visiones epistemológicas contemporáneas. El objetivo fue intentar comprender, a través de la observación participante y descripción interpretativa, las posibles relaciones entre las visiones epistemológicas contextualizadas del profesor, sus prácticas de enseñanza y el proceso de adquisición de los conocimientos por los alumnos con vistas a un aprendizaje más significativo de los contenidos de Física. Las conclusiones, aunque promisorias, parecen indicar un proceso incipiente y con muchas preguntas sin respuesta.

Palabras clave: enseñanza de Física, epistemología, aprendizaje significativo.

Title: An epistemological approach to Physics teaching: a contribution to meaningful learning in Physics, with many open questions.

Abstract: This paper describes a case study with a high school Physics teacher whose epistemological conceptions, according to previous studies, were considered clearly in accordance with accepted contemporary epistemological views. The objective was to attempt to grasp, through participant observation and interpretive description, possible relationships between those contextually accepted epistemological views of the teacher and the process of knowledge acquisition of the students aiming at a more meaningful learning of physics contents. Research findings, although quite promising, suggest an incipient process with many questions without answer.

Keywords: Physics teaching, epistemology, meaningful learning.

Introducción

Este estudio fue concebido con el objetivo de investigar las relaciones entre las concepciones epistemológicas de un profesor de Física, sus prácticas docentes y las contribuciones para un aprendizaje más significativo de los contenidos de Física de alumnos de Enseñanza Secundaria.

El profesor de Física investigado, Profesor A, ya había sido objeto de investigación en dos estudios etnográficos anteriores, realizados por los autores, con el objetivo de conocer las concepciones epistemológicas de futuros profesores de Física y sus transformaciones a través de una disciplina de Epistemología en el grado (Estudio I) y, con objetivo idéntico con profesores de Física ya actuantes en postgrado (Estudio II). Las conclusiones de los dos estudios, Estudio I y Estudio II, resumidas a continuación, indicaron que las concepciones del Profesor A claramente coincidían con las visiones epistemológicas contemporáneas cuando se inició la etnografía de la clase, objeto del presente trabajo.

Estudio I: Fue un estudio etnográfico que se transformó en Disertación de Maestría (Massoni, 2005), en que partimos del presupuesto, comúnmente encontrado en la literatura del área (por ejemplo, Matthews, 1995; McAdam, 1990; Meichtry, 1993; Chassot, 1998; Ryder et al., 1999; Khishfe y Abd-El-Khalick, 2002; Angotti, 2002; Lederman et al., 2002; González-Espada, 2003; Moreno, 2006) de que, aun después de una buena carrera de Física, los estudiantes mantienen concepciones inadecuadas sobre la naturaleza de la ciencia y sobre el trabajo de los científicos.

Las conclusiones del Estudio I sugirieron que la presentación explícita y la amplia discusión en las clases de algunas de las principales visiones epistemológicas contemporáneas, surgidas a lo largo del siglo XX, en una disciplina de Historia y Epistemología de la Física, asignatura obligatoria en la carrera de Licenciatura en Física de la UFRGS, contribuyeron significativamente para la transformación de la visión de la mayoría del grupo de estudiantes investigados. Todos los estudiantes que fueron objeto de la investigación estaban acabando la carrera, o sea, se trataba de futuros profesores de Física.

Al final del Estudio I, que constó de tres etapas de análisis: análisis etnográfico descriptivo, análisis cualitativo de monografías producidas por los futuros profesores y un análisis cuantitativo de los resultados de la aplicación de un cuestionario de pretest y posttest sobre la naturaleza de la ciencia, el Profesor A estuvo clasificado entre los tres futuros profesores que compusieron la Categoría 1 (visión adecuada). En la Categoría 2 (visión parcialmente adecuada) fueron clasificados dieciséis profesores y en la Categoría 3 (visión inadecuada) había dos profesores de un total de veintiuno que finalizaron la asignatura (Massoni y Moreira, 2007; Moreira, Massoni y Ostermann, 2007).

La Categoría 1 indicó que los profesores pasaron a considerar que: el conocimiento científico no nace de la observación cruda; toda observación está cargada de presupuestos teóricos; las leyes y teorías de la Física tienen naturaleza hipotética y conjetural; las leyes y teorías no son fijas ni inmutables; el conocimiento científico no es lineal y acumulativo, sino que está marcado por controversias, errores y rectificaciones; elementos no racionales como imaginación y creatividad forman parte de la ciencia; aspiraciones personales de los científicos y el contexto sociocultural influyen en la ciencia; las teorías no son descubiertas, son propuestas tentativamente y sometidas a tests empíricos; existe competición entre teorías rivales dentro de un mismo campo de investigación, de manera que

sobreviven las más aptas, aquéllas que la comunidad científica juzga que explican mejor el mundo.

Estudio II: Fue un Estudio Exploratorio (Massoni y Moreira, 2007) con el objetivo de investigar la contribución de las "visiones epistemológicas contemporáneas" en la transformación de las concepciones de profesores de Física ya actuantes, algunos hace mucho tiempo, a través de la observación en una disciplina similar a la del Estudio I, pero inserida en el currículo del Postgrado Profesional en Enseñanza de Física de la UFRGS. La disciplina, Epistemología y Enseñanza de Física, fue ofrecida en enero de 2007, bajo la forma de curso intensivo de verano y, con el objetivo de caracterizar una investigación cualitativa, nuestro estudio se extendió durante un semestre más, a través de la observación-participante en la asignatura de Tópicos de Física Moderna y Contemporánea II, también del Postgrado Profesional, con el mismo grupo de profesores-alumnos.

Las conclusiones del Estudio II sugirieron que la mayoría de los profesores actuantes, cuando empezó la asignatura, tenía una visión empirista-inductivista de la naturaleza de la ciencia. Sin embargo, la presentación y discusión de las nuevas visiones consiguió generar importantes perturbaciones en las concepciones de esos profesores, aunque los resultados hayan sido bastante modestos, pues según parece, hay una mayor inercia con relación a los cambios cuando los profesores ya son actuantes hace mucho tiempo, con estrategias de enseñanza muy arraigadas.

El Profesor A, que hacía dos años que ejercía la docencia en aquella época, se destacó en la disciplina porque, en discusiones de grupo y en las tareas escritas, rechazó la doctrina empirista-inductivista, defendiendo que la naturaleza de las leyes y de las teorías de la Física es conjetural, provisional y tentativa. Defendió su idea de que existen controversias en la ciencia y que se trata de una construcción humana; mostró que tenía conciencia de la importancia de las nuevas concepciones para la reflexión permanente y transformación de sus prácticas docentes y, de que los libros de Física, en general, transmiten una visión equivocada de la ciencia; enfatizó que son elementos importantes en la ciencia la creatividad, la imaginación, la intuición y que el conocimiento científico no nace de la observación ingenua, sino que se trata de una propuesta tentativa que es constantemente revisada.

Trascribimos, a continuación, parte de la respuesta del Profesor A, a un cuestionario en que se preguntó de qué forma las visiones epistemológicas contemporáneas podrían contribuir en su práctica de enseñanza: *"El hecho de que tengamos "ideas" sobre cómo tiene lugar el progreso de la ciencia nos da un entendimiento mayor sobre cómo se puede dar la comprensión del alumno. (...) La reflexión generada es algo muy importante"*.

En suma, las conclusiones de los Estudios I y II indicaron que la presentación explícita de diferentes visiones epistemológicas contemporáneas, la intensa discusión de las mismas, junto con el método colaborativo presencial, principalmente a través de la realización de trabajos en grupos, de debates con toda la clase y de la utilización de diferentes instrumentos heurísticos (mapas conceptuales y diagramas en V; Moreira, 2006) pueden ser herramientas potenciales para desencadenar un proceso

lento, pero transformador de las concepciones, generalmente inadecuadas sobre la naturaleza de la ciencia, tanto de futuros profesores como de profesores que ya actúan en la docencia.

Creemos que la presentación, el estudio y la discusión exhaustiva de una gama diversificada de concepciones, en la formación inicial y continua de profesores de Física, sobre el proceso de construcción del conocimiento científico pueden contribuir de forma eficaz para hacer que esos profesores sean más reflexivos en el ejercicio de la actividad docente. Puede motivarlos a introducir cambios en la forma de presentar la Física en las clases y así ofrecer una contribución importante para una enseñanza, y un aprendizaje más significativo, de la Física, que valore el significado, el tener sentido para el alumno.

Enseñar Física, y ciencias en general, no como un conocimiento estático, infalible, dotado de poderosos métodos objetivos y fidedignos, sino como una construcción humana tentativa, provisional, abierta a teorías alternativas, a nuevas explicaciones nos parece un camino promisorio para mejorar la calidad de la enseñanza, en busca de un aprendizaje significativo y crítico, más adecuado para preparar el ciudadano para los desafíos tecnológicos, sociales y ambientales que impone el presente siglo.

Justi (2006) afirma que en la Química también es necesario poner en práctica actividades para que los alumnos comprendan los modelos científicos y la naturaleza de la ciencia como medio de capacitarlos para enfrentar situaciones relacionadas con las ciencias en un mundo en el que cada vez se exige más destreza con comunicaciones, adaptación, aprendizaje continuo, comprensión flexible y crítica.

Referencial teórico

Aprendizaje significativo es un concepto enfatizado por David Ausubel (1963, 1968, 1978 apud Moreira, 1999) desde la década de 1960. (...). Algunos años después, Joseph Novak (1977, 1978, 1980, 1981 apud Moreira, op. cit.) pasó a colaborar con Ausubel y, progresivamente, asumió la tarea de refinar y divulgar la teoría (...). Para Ausubel, el aprendizaje significativo es un proceso por medio del cual una nueva información se relaciona, de manera sustantiva (no literal) y no arbitraria, a un aspecto relevante de la estructura cognitiva del individuo. Es decir, en ese proceso la nueva información interactúa con la estructura de conocimiento específica, la cual Ausubel llama "concepto subsunso", existente en la estructura cognitiva de quien aprende. (...). Se puede decir, entonces, que el aprendizaje significativo tiene lugar cuando la nueva información "se ancla" en conocimientos específicamente relevantes (subsunsores) preexistentes en la estructura cognitiva (Moreira, 1999, pp. 9-11).

El aprendizaje cognitivo es aquél que resulta en el almacenamiento organizado de informaciones en la mente del ser que aprende y ese complejo organizado es conocido como estructura cognitiva (Moreira, 1983, p. 61).

Para Ausubel y Moreira, *el aprendizaje significativo* se contrapone al *aprendizaje mecánico*, entendido, este último, como aquél en que el sujeto aprehende nuevas informaciones sin interactuar con los conceptos

subsunoers preexistentes en su estructura cognitiva. Los autores no tratan la cuestión como una dicotomía, sino como un *continuum*, pues el aprendizaje de un contenido nuevo, por ejemplo, puede empezar de alguna forma con un aprendizaje mecánico, pero debe evolucionar gradualmente para un aprendizaje significativo.

Este trabajo toma esas concepciones sobre aprendizaje significativo como referencial teórico.

Referencial epistemológico

La superación de la visión empirista-inductivista

La idea más aceptada hasta el inicio del siglo XX era que los fenómenos están regidos por leyes naturales; que la ciencia empieza con la observación del mundo; que las proposiciones de observación forman la base para la inducción de leyes y teorías generales y verdaderas; que el hombre nace sin saber nada, como una "tabula rasa" y aprende con la experiencia, a través de los sentidos; que solamente es científico lo que puede ser experimentado; que existe un "método científico" como una rígida secuencia de pasos, que empieza con la observación y culmina con el descubrimiento; que la observancia del "método científico" es la forma legítima de hacer ciencia; que no es posible saber nada a través de la razón o intuición, sólo la investigación empírica puede mostrar regularidades o no; que la metafísica y el pensamiento especulativo están eliminados de la actividad científica por referirse a entes ideales; que, según Chalmers (1999), la ciencia se distingue de la no-ciencia *por el uso del método empírico de la Física, que consistiría en recoger datos por medio de una cuidadosa observación y experimentos y de la subsiguiente derivación de leyes y teorías a partir de esos datos por algún tipo de procedimiento lógico* (op. cit., p. 18).

Esos principios formaban la base de la *filosofía empirista* y dieron origen a la creencia de que la ciencia pura deriva de la observación y experimentación, y que por algún tipo de inferencia es posible derivar teorías científicas infalibles a partir de tal base empírica. O sea, considera la observación y la experimentación como fuentes de conocimiento.

Para los empiristas, el procedimiento lógico que permite derivar leyes y teorías a partir de los datos empíricos es la *lógica inductiva*. El *inductivismo* cree que la ciencia empieza con la observación y experimentación; que el *método científico* permite registrar fielmente lo que se puede ver, oír, etc., de forma que posibilite afirmaciones no prejuiciosas a respecto del mundo. Las afirmaciones a las que se llega de esa forma se llaman afirmaciones singulares, pues se refieren a un caso específico, a un fenómeno dado o a un estado de cosas. El inductivismo argumenta que es legítimo generalizar leyes y teorías universales a partir de *afirmaciones singulares*.

Si un gran número de As fue observado bajo una amplia variedad de condiciones, y se todos esos As observados poseían sin excepción la propiedad B, entonces todos los As tienen la propiedad B (Chalmers, 1999, p. 27).

El esquema inductivista es completado por la *deducción*, o sea, una vez que se obtienen las leyes y teorías a partir de la observación, es posible,

considerando que las condiciones iniciales sean cuidadosamente descritas, derivar de ellas (de las leyes y teorías) consecuencias lógicas, que sirven como explicaciones o previsiones.

Las ideas presentadas hasta aquí, de forma diagramática, formaban la base de la *visión empirista-inductivista* de la ciencia. A lo largo del siglo XX, esos principios fueron discutidos, criticados y demolidos. En ese período, fueron señaladas y enfatizadas deficiencias y profundas dificultades: la inducción no se sustenta en bases lógicas (la conocida generalización "todos los cuervos son negros", obtenida a partir de la observación de una gran cantidad de cuervos, todos negros, no garantiza lógicamente que el próximo cuervo observado no sea blanco, lo cual haría que la conclusión fuese falsa, aunque la inferencia inicial sea verdadera); la observación y la experimentación no se constituyen en base segura para el conocimiento científico porque los datos empíricos son falibles (están sujetos a errores); muchas teorías pueden ajustarse al mismo conjunto de datos empíricos; toda observación está cargada de conocimientos anteriores y expectativas, es decir, dos observadores que ven la misma cosa pueden interpretarla de manera diferente porque la observación es precedida de algún tipo de teoría. Estos y otros argumentos han mostrado que la *visión empirista-inductivista de la ciencia* es una visión equivocada y superada en la actualidad.

Algunas "visiones epistemológicas contemporáneas"

El siglo XX fue escenario de intenso debate epistemológico, desencadenado inicialmente por Karl Popper, al cual adhirieron muchos otros pensadores en las décadas subsiguientes. Este trabajo toma como referencial teórico-epistemológico las ideas de algunos de los principales filósofos de la ciencia del siglo pasado: Karl Popper (1982), Thomas S. Kuhn (1978), Imre Lakatos (1993), Gaston Bachelard (1988), Larry Laudan (1977), Stephen Toulmin (1977), Humberto Maturana (2001); Paul Feyerabend (1989) y Mario Bunge (1960, 1974, 2000). La elección de este conjunto de teorías epistemológicas como referencial teórico de este trabajo se debe al hecho de que esas fueron las concepciones discutidas en las disciplinas que dieron base a los Estudios I y II, que fueron impartidas al Profesor A.

Una de las principales características de la Epistemología Contemporánea es justamente la multiplicidad de sus escuelas, ora similares o complementares, ora contradictorias e incluso excluyentes. A pesar de eso, existen algunos rasgos comunes entre las diferentes concepciones: el combate a la filosofía empirista-inductivista; el reconocimiento de que el edificio científico es una construcción humana; el convencimiento de que el trabajo del científico no se reduce al descubrimiento de leyes y teorías fijas e inmutables, el científico propone hipótesis explicativas sobre los hechos, objetos y fenómenos de interés e intenta verificarlas experimentalmente, en alguna medida; el reconocimiento de que existen controversias, rupturas, competiciones e influencias humanas y sociales en la ciencia; que el conocimiento científico no deriva de la observación cruda, ni de la razón pura; que la tecnología y la instrumentación son importantes para el avance de la ciencia; que no existe un principio único e infalible, sino una pluralidad metodológica en la actividad científica.

Debido a sus especificidades, esquematizamos, a continuación, algunos rasgos importantes de las concepciones de los filósofos de la ciencia destacados anteriormente, que nosotros llamamos "visiones epistemológicas contemporáneas":

- Según Popper, el conocimiento científico tiene naturaleza conjetural, hipotética; la *falsedad* o *veracidad* es el *criterio de demarcación* entre el discurso científico y otros tipos de conocimiento; cuando se comprueba que es falsa, la teoría debe ser abandonada; la reiterada sustitución de teorías científicas por otras cada vez más satisfactorias se da a través de una actitud crítica, el *racionalismo crítico*. Así la observación pura, no es fuente de conocimiento.

- Para Kuhn, la ciencia crece a través de un esquema dinámico: períodos de *ciencia normal* interrumpidos por *revoluciones científicas*, seguidos de *nueva ciencia normal*, que está caracterizada por un conjunto de reglas, creencias, técnicas y modelos compartidos por una comunidad científica, que constituyen un *paradigma*; la ciencia sigue un modelo revolucionario; el cambio de paradigmas tiene lugar por persuasión y, por lo tanto, no tiene sentido hablar de "método científico" único y algorítmico para hacer ciencia.

- Toulmin defiende que la ciencia no es socialmente neutra y descontextualizada, sino un proceso cooperativo, con influencias sociales, culturales, de cada época. La base del conocimiento científico, para Toulmin, está en los *conceptos* y en el cambio *conceptual*, que se da de forma lenta y evolutiva, así como la evolución de las especies, por eso no hay que hablar de leyes y teorías fijas e inmutables; la ciencia sigue un modelo evolutivo. En el proceso selectivo, los *periódicos* y los *foros profesionales* funcionan como filtros para las ideas científicas.

- La regla, según Lakatos, es la competición (y a veces sustitución) de teorías y/o programas de investigación. Sobreviven los más aptos, los que explican mejor la naturaleza;

- La imaginación y la creatividad son ingredientes indispensables para el avance del conocimiento científico, según Feyerabend. La formulación de hipótesis científicas es un proceso arbitrario, sin método. No existe en la ciencia un principio único, absoluto, sino una diversidad metodológica y la contra-inducción y la contra-regla son siempre posibilidades de éxito;

- La ciencia es una iniciativa racional no lineal, no acumulativa, en la cual la regla es la coexistencia de teorías rivales con el objetivo de producir teorías eficaces en la resolución de problemas científicos, según Laudan;

- Para Bachelard, la ciencia resulta del pensamiento científico inconcluso, abierto, sujeto a la rectificación y el conocimiento avanza a medida que generamos rupturas, *negación* del conocimiento anterior y con eso superamos *obstáculos epistemológicos* (el conocimiento común, usual, como también el conocimiento científico establecido); la ciencia contemporánea posee dos polos, el empirismo y el racionalismo abstracto, entre ellos debe transitar libremente el *espíritu científico*; y, está marcada por una *fenomenotécnica*, o sea, cuando la teoría prevé un fenómeno nuevo, el investigador procura crear el fenómeno a través de la instrumentación.

- Según Maturana, el fenómeno del conocer implica explicar el conocedor (el científico), que como ser vivo se auto-organiza permanentemente (Teoría de la Autopoiesis) y no puede distinguir la percepción de la ilusión. Así, explicar es siempre una *reformulación de la experiencia* con elementos de la *experiencia del observador*, que necesita la aceptación del otro. Las teorías científicas son libres creaciones del hombre en su operación como científico y no se refieren a una realidad independiente del observador;

- La ciencia es un proceso de construcción de modelos, que empieza con idealizaciones y simplificaciones (*objeto-modelo*), después se buscan teorías capaces de describirlo (*modelo teórico*), siendo que lo que *caracteriza el conocimiento científico es su verificabilidad* (Bunge, 1960, p. 41), o modo, medio o método a través del cual se presentan problemas científicos y se ponen a prueba las soluciones propuestas.

Objetivos

El presente trabajo tiene el objetivo de relatar un estudio de caso con un profesor de Física, cuyas concepciones epistemológicas fueron consideradas claramente concordes con las visiones epistemológicas contemporáneas. Nos propusimos observar, describir e intentar comprender su práctica docente e intentar relacionar en qué medida sus concepciones epistemológicas contextuales pudieron, o no, contribuir a un aprendizaje significativo de la Física por parte de sus alumnos.

El estudio está basado en la premisa de que es necesario hacer los profesores conscientes de que la enseñanza y el aprendizaje significativo de Física implican también la presentación de los contenidos, leyes y teorías de una forma epistemológicamente más contextualizada. El estudio, que aquí denominamos Estudio III, compone una investigación más amplia como parte de una tesis de doctorado y fue desarrollado con un profesor que realiza su actividad docente en una escuela particular, confesional de Enseñanza Secundaria de Porto Alegre, Brasil.

El profesor, que denominamos "Prof. A", fue escogido por haber participado del Estudio I, en aquella época como estudiante de la Licenciatura en Física; por haber concluido su carrera en el 2º semestre de 2004, estar actuando en la escuela investigada; y haber vuelto, después de dos años de práctica docente, a la universidad para hacer el Postgrado Profesional en Enseñanza de Física, donde participó también del estudio exploratorio (Estudio II), como alumno de la asignatura Epistemología y Enseñanza de Física, en el primer semestre de 2007.

Metodología

La metodología utilizada en este estudio fue la cualitativa del tipo estudio de caso etnográfico. Los estudios anteriores, Estudios I y II, que nos suministran informaciones sobre las concepciones epistemológicas del Profesor A, investigado en este trabajo, también fueron cualitativos. La investigación cualitativa o interpretativa se centra en la comprensión del significado que las personas atribuyen a las acciones y eventos en aquel escenario particular y en aquel momento, según Erickson (1986, p.119). No se preocupa de la comprobación de hipótesis previamente construidas. Se recogen los datos a través de la observación participante en las clases, de

anotaciones de campo descriptivas diarias, anotando las participaciones, acciones, pronunciamientos y actitudes en la perspectiva de los actores sociales, además de recoger trabajos, informes, pruebas, etc. producidos por los alumnos en cada situación investigada.

Posteriormente, se analizan e interpretan los datos, procurando llegar a conclusiones no generalizables, sino entendidas en el contexto de aquel grupo social, de aquella escuela, de aquel profesor. La descripción detallada del ambiente natural, de la vida como es vivida y del contexto social son características fundamentales de este tipo de investigación.

Realizamos en esta investigación una colecta de datos del cotidiano de las clases a través de la observación participante, anotando lo que se decía, las actitudes, acciones y eventos de las clases, en diarios de campo. No hicimos grabaciones en audio o vídeo. Después, trascribimos los datos y los analizamos interpretativamente intentando comprender las relaciones, si las había, entre las concepciones epistemológicas del Profesor A, sus prácticas didácticas y el aprendizaje de los contenidos de Física por parte de los alumnos.

Estudio III: estudio de caso con un profesor de Física de una escuela particular (confesional)

Descripción de la escuela, del profesor y la clase

El estudio de caso fue realizado en una escuela particular, confesional, de Porto Alegre, Brasil. La observación participante fue realizada en las clases de Física en el 2º semestre del año lectivo de 2007, en el período de septiembre a diciembre, en una clase de 2º año de Enseñanza Secundaria, con 41 alumnos y comprendió 41 horas. Había clases de Física todos los días, menos los lunes, con una duración de 40 minutos por día.

El Prof. A, como ya se dijo, participó del Estudio I y del Estudio II, ya descritos en la introducción. En los dos estudios, el Prof. A dio muestras de que sus creencias y concepciones habían sido profundamente modificadas por las nuevas visiones, además de manifestar preocupación constante en mejorar su práctica docente y declarar interés personal en la observación participante en sus clases, con el fin de obtener un parecer crítico sobre su forma de conducir las clases. Por estas características del Prof. A, fue seleccionado para hacer el estudio de caso.

Tentativa de comprensión del cotidiano de la clase: profesor y alumnos

Nuestra observación participante tuvo inicio el 25/09/07, cuando el Prof. A revisaba con sus alumnos los fundamentos de la Termodinámica y resolvía ejercicios como preparación para un examen. Era una clase de 41 alumnos apiñados en una sala pequeña, con filas de mesas próximas unas de las otras, ventanas normalmente cerradas, cortinas oscuras y cerradas, y por eso las luces tenían que permanecer encendidas todo el tiempo. La proximidad de las mesas favorecía las conversaciones entre los alumnos, el intercambio de pequeños objetos (bolígrafos, lápices, llaveros, etc.), cosa que distraía fácilmente a los estudiantes. Los alumnos, más niñas que niños, tenían edades comprendidas entre los 15 y 16 años. La clase fue escogida en reunión previa con el Prof. A por ser de 2º año, o sea, por

haber estudiado Física en el primer año de la Enseñanza Secundaria y por presentar un desempeño considerado bueno.

En nuestra primera observación participante, la clase empezó con varios minutos de atraso, pues los alumnos se encontraban en actividad religiosa en un edificio anexo y tardó algún tiempo para regresar y acomodarse. El Prof. A empezó dibujando un pistón y esquematizando la resolución de un ejercicio. Incentivó los alumnos a interpretar la situación. No hubo respuestas. Apenas el silencio. El profesor insistió y las pocas manifestaciones fueron casi siempre "al tuntún". No tuvimos dudas de que profesor y alumnos estaban perturbados con nuestra presencia. Después de algunos intentos sin éxito, el profesor pasó a leer y a discutir las alternativas de respuesta del ejercicio. La clase calurosa y con ambiente cargado hacía el clima más pesado y el profesor acabó informando la alternativa correcta y pasó para un nuevo ejercicio.

Prof. A: ¿Conseguís leer y entender lo que pasa en el problema? Tenéis que intentar entender lo que pasa [...] el gas recibió energía en la forma de calor, el volumen aumentó de 1 para 3m^3 y, durante ese proceso, la presión permaneció constante.

Alumno 1: El sistema libera energía en forma de trabajo.

Prof. A: Ésta es una manera de pensar...

La primera clase de nuestra observación participante terminó sin muchos avances, tanto en el contenido como a nivel de aprovechamiento.

La identificación de los alumnos mediante números (por ejemplo, "Alumno 1") es utilizada en este análisis simplemente para distinguir lo que dijeron diferentes alumnos en una misma clase. No tiene el fin de identificar unívocamente cada alumno, de manera que en la secuencia de las clases las mismas siglas son usadas para diferentes interlocutores. O sea, la sigla Alumno 1, por ejemplo, no se refiere a un sujeto específico, sino que designa el primer alumno que se manifestó en aquella clase y, de forma semejante, para los demás.

La segunda clase, el 26/09/07, también empezó con algún atraso, pues los alumnos continuaban en actividades religiosas. El profesor empezó hablando de la Segunda Ley de la Termodinámica.

Prof. A: El descubrimiento que estudiaremos en la clase de hoy marcó la transición de la Edad Media para la Edad Moderna: la máquina térmica. (...). La máquina térmica usa el cambio de energía para realizar trabajo. (...) La energía, como sabéis, fluye de la mayor temperatura para la menor...

Alumno 1: ¿Qué pasa si fuera hace más calor?

Prof. A: Es lo que pasa con el aire acondicionado. (...) en realidad, el aire acondicionado retira energía térmica del interior de la sala y la echa para fuera.

Alumno 2: Pero ¿cómo, si toda la sala está cerrada?

Prof. A: Lo consigue a través del dispositivo interno, pero para eso necesita energía eléctrica (...) el aire acondicionado bombea energía térmica para fuera.

A continuación fueron planteadas varias preguntas y hubo una pequeña discusión sobre el funcionamiento del aire acondicionado. El Prof. A retomó el asunto y utilizó una jeringa para simular un pistón.

Prof. A: ¿Estáis de acuerdo en que después tenemos que retirar energía para que baje el pistón, poniéndolo en contacto con una fuente fría? Suminé energía y ahora tengo que retirar energía para que vuelva el pistón. La esencia de la 2ª Ley de la Termodinámica es que, en un proceso cíclico, parte de la energía es desperdiciada, (...) se echa a la fuente fría. Por eso en una máquina térmica cíclica no se consigue aprovechar 100% de la energía suministrada. (...) ¿Quién es la fuente fría en el caso del coche?

Alumno 3: ¿Es el agua que se le pone?

Prof. A: Es la atmósfera.

La clase fue constantemente interrumpida por preguntas, muchas preguntas. Algunas eran sólo curiosidades. No todas eran respondidas. El gran número de alumnos en la clase complicaba las cosas. Pero en general, las explicaciones eran conceptuales.

Prof. A: ¿Estáis de acuerdo en que tenemos que medir cuánto por ciento es efectivamente utilizado de energía? (...) Vamos a dar un nombre para eso...

Alumno 4: ¿Puedo responder? ¿Es rendimiento? - Arriesgó el alumno.

Discusión interrumpida por el timbre. Fin de la clase en medio de una lluvia de preguntas y dudas. Como veremos en el transcurso de este análisis, la brusca interrupción de las explicaciones era una constante, lo que parece indicar que períodos cortos, de 40 minutos, representan una dificultad para la enseñanza y el aprendizaje.

El 27/09/07, tercera clase, continuó la revisión.

Prof. A: Yo ya dije que fórmulas matemáticas no dicen nada si no se sabe qué significan... qué está sucediendo (...). Un sistema que contiene gas, cerrado, es un sistema termodinámico. A partir de ahí usamos un dibujo para facilitar vuestra vida (hizo un dibujo esquemático en la pizarra) el sistema puede intercambiar calor con el medio; puede producir trabajo; existe una grandeza que es la energía interna que es calor menos trabajo ($\Delta U = Q - T$). (...) ¿Por qué surge la señal negativa? Porque se determinó que si el gas realiza trabajo, la energía interna debe disminuir y la señal del trabajo es positiva. Si se realiza trabajo sobre el gas, la señal es negativa, y la energía interna aumenta. La señal es negativa porque nosotros lo determinamos así desde el inicio. (...).

Se percibía una visible preocupación del profesor por destacar cuestiones epistemológicas, aunque de forma implícita, como se puede ver en sus palabras. Las señales son convenciones de los científicos y las teorías son

explicaciones (...), repetía regularmente, sin entrar, sin embargo, en mayores detalles sobre la naturaleza de esas explicaciones.

En esa clase acabó la revisión para el examen. Una revisión tumultuada, entrecortada por preguntas, exprimida entre clases de horario reducido, sobre cuya validez y eficacia tenemos nuestras dudas.

En la cuarta clase, fue el examen. Los comentarios del Prof. A en la clase siguiente no fueron animadores: el resultado del examen fue negativo. El profesor corrigió las preguntas del examen como revisión para el examen bimestral. Nuevamente la preocupación con exámenes y con notas.

Prof. A: Pregunta 1: (...) cuando el gas realiza trabajo, es positivo; el gas usó energía en forma de trabajo. Así, $\Delta U = Q - \tau = 0 - \tau$, la energía interna disminuye. Es como una cuenta en el banco...cuando se da un cheque, la cuenta disminuye (...).

Había una característica en las clases del Prof. A que, aparentemente, los alumnos apreciaban: la tendencia de asociar conceptos, enunciados, al cotidiano de los alumnos, procurando facilitar la comprensión de los fenómenos físicos. *Un sistema termodinámico puede ser una jeringa, una bomba de bicicleta, un pistón de coche (...)*, en las palabras del profesor.

En la sexta clase, el 03/10/07, nueva etapa de revisión que se extendió hasta la octava clase como preparación para el examen bimestral. Algunos estaban visiblemente desanimados. Una alumna se negó a quedarse en la clase, dijo que no necesitaba nota y el profesor le permitió que se retirase a la biblioteca. Acabó la clase destacando un aspecto epistemológico relevante: la teoría o la idealización no es la realidad, sino un intento de aproximarse a ella. Eso está claro para nosotros. Pero, ¿y para los alumnos? Es difícil saber cómo sonaron esas ideas en la cabeza de aquellos alumnos a las doce menos cinco de la mañana de aquel miércoles.

El profesor empezó la séptima clase con la expresión: "... $P_1 V_1 / T_1 = P_2 V_2 / T_2$. (...) si una variable dobla, entonces la otra debe alterar para compensar y conservar la igualdad. Por ejemplo, un gas en la bomba de bicicleta que obedece, o por los menos se aproxima a las condiciones de un gas ideal (...).

Alumno 1: Profesor, yo no entiendo por qué dobla la presión

El profesor utilizó un ejemplo numérico. Hizo las cuentas.

Alumno 1: ¡Ahora entendí!

Hacer los cálculos y mostrar numéricamente que si el volumen aumenta la presión tiene que disminuir en la misma proporción para mantener la igualdad, a veces, parecía que era la prueba perfecta que necesitaban los alumnos.

En la clase 9, el 09/10/07, la agitación era grande y el profesor se puso un poco nervioso y les pidió a dos alumnos que se retirasen a la biblioteca. Observamos que, aparentemente, los alumnos interpretaban con tranquilidad esos episodios. No exigían, no se enfrentaban, simplemente se retiraban. Translucía una relación de profundo cariño y amistad entre alumnos y profesor. El profesor explicó el principio de funcionamiento del congelador.

Prof. A: ¿Por qué creéis que el congelador está en la parte de arriba del frigorífico?

Alumno 1: ¿No tiene que ver con la densidad del aire?

Alumna 2: No lo entiendo...¿cómo?... ¿cómo se consigue retirar energía del aire caliente?

El profesor hizo un esquema, explicó la función de la serpentina, de la tubulación, del compresor, etc. Las preguntas y curiosidades aumentaban, el ruido en la clase también y rápidamente la pregunta reapareció como si fuese la primera vez: *¿por qué el congelador no está en la parte inferior?* Nueva explicación y la promesa del profesor de preparar un seminario sobre el asunto. El seminario presentado en la clase siguiente se caracterizó por ser muy ruidoso y con enorme desinterés. A pesar del gran esfuerzo del profesor, sólo tres o cuatro alumnos hicieron una u otra pregunta. El profesor se quedó visiblemente decepcionado.

Las clases siguientes transcurrieron normalmente. Una alumna le pidió al profesor que explicase el funcionamiento del aire acondicionado tipo *split*. Había uno en la clase. Hubo explicación, preguntas y nuevas explicaciones. Parecía que algunos lo habían comprendido, otros no. Los más activos se ponían impacientes. En esos momentos la estrategia de esos alumnos era simple: intervenir comentando fenómenos o curiosidades que habían visto en programas o documentales de televisión. El resultado era seguro: el nivel de conversaciones crecía, el foco se desviaba y se rompía la monotonía. Existía, como ya se ha dicho, una relación de amistad y respeto mutuo entre profesor y alumnos. De eso no había duda. La táctica era más un juego de supervivencia para los momentos en los que algunos se aburrían por las repetidas explicaciones. La clase era grande y eso complicaba las cosas. Tonalidades de las relaciones sociales que también se hacen presentes en la clase, según parece.

En la clase 12, el 12/10/07, el profesor introdujo la Óptica Geométrica. Empezó con la cámara oscura que los alumnos tuvieron que montar con material reciclado.

Prof. A: La actividad consiste en lo siguiente: coged la caja y haced un pequeño agujero en el lado opuesto a la pared de papel vegetal, haced el agujero lo más pequeño posible, del tamaño de una punta de lápiz. Encended la vela, ponedla enfrente del agujero y observad lo que sucede. En la hoja que estoy entregando hay algunas preguntas... Cada uno, individualmente, responde la parte 2, que tiene que ver con lo que estáis viendo.

El profesor circulaba por la clase auxiliando, observando e incentivando los alumnos. Un alumno verbalizó el estado de ánimo de la clase: *¡qué alegría!* Los compañeros se rieron, expresando que estaban de acuerdo. Fue una clase entera destinada a las observaciones con la cámara oscura.

Las clases siguientes, en un total de seis, fueron dedicadas a la discusión de los principios de la Óptica Geométrica. Discusiones de un grupo grande, que a veces eran interesantes, otras dispersas, otras veces eran desordenadas, pero siempre en un clima relajado, sin excesos. En ese aspecto, la filosofía de la escuela, marcadamente de carácter religioso,

parecía contribuir fuertemente: hay que buscar siempre el equilibrio, la armonía, advirtió el Director en un pronunciamiento que escuchamos.

Prof. A: Para la clase que viene, traed vuestras ideas sobre el fenómeno (...). Puede ser cualquier idea (...) se trata de lo que vosotros pensáis. Vamos a discutir en conjunto e intentar llegar a una explicación, pues ni la ciencia, ni yo somos dueños de la verdad.

Comprendemos que el objetivo del profesor era dejar brotar libremente las ideas y después ir filtrándolas por un proceso crítico. Pero eso no fue explicitado y las clases, para los alumnos, aparentemente, no tenían rumbo. Las discusiones continuaron en la clase siguiente.

Prof. A: (...) Podéis exponer todas vuestras ideas. ¿Qué es luz? (...).

Alumno 1: Es una claridad que emite el objeto, que tiene como origen el calor...

Alumno 2: ¡Creo que es un conjunto de fotones!

Alumno 3: ¡Creo que es una radiación luminosa!

Alumna 4: ¡Es lo contrario de tiniebla!

El profesor incentivaba la libre manifestación de ideas, pero no hacía una consolidación de las mismas. Permanecían tan sueltas como las nubes que adornaban el cielo en aquel día de primavera. Y el debate continuó clase tras clase.

Prof. A: (...) el profesor, como estáis acostumbrados, es el dueño de la verdad. Hoy, cada uno aquí puede hablar. Estábamos discutiendo qué es luz...

Alumno 1: Es una claridad del cuerpo que tiene una fuente de energía calorífica...cuanto más calor, más claro.

Alumno 2: Creo que son fotones.

Alumno 3: Es como un rayo que sale de las cosas...

Alumno 1: Creo que todo objeto emite luz, de lo contrario no veríamos nada...

Alumno 2: Creo que no todos los cuerpos emiten luz. Algunos emiten y otros reflejan.

Prof. A: ¿El sol emite?

Alumno 2: El sol sí emite luz, porque es una estrella.

Prof. A: Vamos a anotar las principales ideas que están surgiendo. 1) Algunos cuerpos emiten luz; b) algunos cuerpos reflejan luz. ¡Pero no conseguimos llegar a un acuerdo sobre qué es luz!

Alumno 4: Es algo que alumbra...

Alumna 5: Nosotros vemos la luz...

Prof. A: ¿Estáis seguros de que veis la luz? ¿Será que nosotros vemos la luz?

Alumno 5: Pero, claro que la vemos... ¡estoy viendo la bombilla!

Alumno 6: Oscuridad es la ausencia de luz y no vemos. Entonces, para poder ver, tenemos que ver la luz.

Alumno 2: Ya no sé nada...

Prof. A: Vamos a avanzar un poco (...) ¿Todos estáis de acuerdo en que para ver algo es necesario que la luz llegue al ojo?

Alumno 7: Por la noche cuando apagamos la luz no vemos nada. Después el ojo se va acostumbrando y pasamos a ver un poco...

Alumno 8: Para resolver el problema creo que el ojo tiene un tipo de regulación y esta regulación es realizada por la pupila.

Alumno 1: La pupila dilata para buscar más luz. Pero cuanto más claro está, más se contrae para disminuir la cantidad de luz que entra.

Hicimos una larga transcripción de las participaciones para mostrar cómo fueron brotando las ideas y también, gradualmente, se fueron desviando del asunto. La clase terminó sin conclusiones claras y el desaliento de algunos era evidente. Una alumna que estaba a nuestro lado y que permaneció todo el tiempo inclinada sobre el pupitre, apenas escuchando, se desahogó: *¡no llegaron a ninguna conclusión!* Retrucamos: *¿tú has conseguido llegar a alguna? No*, respondió, visiblemente decepcionada.

El profesor, claramente, intentaba la táctica de hacer que los alumnos discutiesen sus ideas, abandonasen las que se mostraban ineficaces y seleccionasen las que mejor explicaban los fenómenos observados en la cámara oscura, a ejemplo de las comunidades científicas que, de pose de un problema científico, pasan a construir hipótesis intentando explicarlo.

Creemos que la estrategia era buena como motivación y también como tentativa implícita de hacer comprender la naturaleza de la ciencia. Faltó conducción y explicación de los objetivos de todo aquello, para que empezase a tener lógica para los alumnos.

En ese aspecto, estamos de acuerdo con Davson-Galle (2004), en un estudio que tiene el objetivo de incluir aspectos del "espíritu crítico" y de la "filosofía de la ciencia" en la enseñanza de ciencias, el autor defiende que uno de los objetivos de la enseñanza de ciencias debe ser participar de la educación liberal de los no científicos. Entiende que la enseñanza de ciencias en las escuelas básicas, aun con tiempo y contenidos limitados, debe ser de manera que suministre *reflexión crítica*. (...). Aunque la enseñanza de ciencias no desarrolle suficientemente habilidades deductivas, *por lo menos el ciudadano debe ser un consumidor intelectual crítico de algunos de los pronunciamientos de los científicos y más crítico con relación al papel de la ciencia en la vida pública*.

Aunque tuviésemos plena convicción de que el Prof. A tenía concepciones contextuales de la naturaleza de la ciencia, parecía que no estaba preparado para hacer la transposición de esas concepciones de forma explícita. En ese sentido, disciplinas de Epistemología, Filosofía de la Ciencia o afines, normalmente ofrecidas en los cursos de formación de profesores, tal vez tengan que incluir orientaciones específicas para suplir esas deficiencias.

En las clases 16, 17 y 18, período de 23 a 25/10/07, los alumnos fueron liberados para participar de la semana de concursos y juegos. Actitudes y comportamientos eran constantemente destacados por los organizadores y por la dirección de la escuela en una clara preocupación con la formación religiosa y ética.

La décima nona clase, el 26/10/07, empezó con la usual agitación que caracterizaba el cambio de períodos. Calculando a ojo, la clase no tenía más de 48m². Un espacio reducido para acomodar 41 alumnos, lo que favorecía un ruido casi permanente. El profesor retomó las discusiones.

Prof. A: Habéis conseguido llegar a algunas conclusiones: 1) que es necesario que llegue luz hasta el ojo para poder ver; 2) que la vela emite luz; 3) que aparecía una imagen invertida de la vela en la pared de la caja; 4) que por la noche vemos menos, pero que así mismo existe alguna forma de luz; 5) que la pupila del ojo tiene algún tipo de regulación para ver por la noche (...).

Los alumnos, visiblemente, no comprendían adonde pretendía llegar el profesor. Una alumna, ese día, expresó ese sentimiento en forma de desahogo.

Alumna 1: Profesor, oiga, quisiera que explicase qué es la luz...luz...luz...porque yo ya estoy cansada. No aguanto más salir sin saber qué es luz, al final de cuentas. Discutimos, pero no llegamos a ninguna explicación...

El Prof. A intentó tranquilizar la alumna informando que llegarían a una explicación a través de la discusión.

Alumna 1: Entonces si respondo otra cosa en el examen, ¿usted lo considerará errado?

El profesor se limitó a sonreír y nosotros nos quedamos con la impresión de que había el riesgo inminente de caer en un relativismo peligroso, un "todo vale", en que, para los alumnos, cualquier explicación sería válida siempre que expresase su forma de pensar.

El Prof. A tenía la intención clara de que los alumnos llegasen a través de la discusión y de la negociación de ideas a los principios de la óptica geométrica. Gozaba de buena receptividad entre los alumnos y eso le permitía la autonomía necesaria para dar continuidad a ese proyecto. Pero aquel tipo de clase, abierta al debate amplio, sin restricciones, prolongado e inconcluso parecía absolutamente infrecuente y el desahogo de la alumna 1 representaba el clima de ansiedad que iba dominando buena parte de la clase y daba señales de que era urgente que el profesor interviniese y explicase, de forma clara, cómo la comunidad científica explica la luz, los fenómenos luminosos y cómo construye las teorías. Sin embargo, la clase terminó una vez más sin intervenciones conclusivas.

En la vigésima clase, las mesas estaban dispuestas en forma de círculo, debido a la disciplina anterior. El profesor decidió mantener la posición de las mesas para facilitar las discusiones.

Prof. A: Hemos hecho tres afirmaciones, de acuerdo con nuestras discusiones (...) 1) los rayos se propagan en línea recta; 2) los rayos

de luz son independientes. (...) ¿Qué le pasa a la luz cuando vemos el ojo de otra persona en el espejo? (...) Habéis visto que a través del espejo no es posible hacer el camino por el que la luz llega al ojo, se refleja y yo no veo el ojo del otro. No lo habéis conseguido. ¿No es verdad? (...)

Alumno 1: Si en una clase hay una parte oscura y otra clara, quien esté en la parte oscura ve la persona que está en la parte clara, pero no lo contrario...

Prof. A: (...) Estoy intentando induciros a seguir el rayo de luz... la luz va en línea recta al ojo, el ojo la refleja, la luz vuelve en línea recta...

Alumna 5: Pero ¿qué pasa si la luz va en línea recta?

El Prof. A pretendía que llegasen al principio de reversibilidad de los rayos de luz, pero no lo consiguió. Finalmente, ese día el profesor explicó el motivo de las repetidas discusiones. Desde nuestro punto de vista, hizo una exposición adecuada a las visiones epistemológicas contemporáneas, intentando mostrarles a los alumnos que, en general, la Física establece sus teorías y principios de forma tentativa, hipotética y provisional. De hecho, las cosas no son fáciles en el cotidiano de la clase, en una escuela en la que los alumnos están acostumbrados a recibir el conocimiento pronto en la mayoría de las disciplinas escolares.

Es interesante notar que la propia comunidad de físicos tiene dificultades para aceptar ciertas ideas. Trocchio (2005, p.53), por ejemplo, asevera que desde 1905 hasta los días de hoy los físicos han mantenido que la Teoría de la Relatividad nació para explicar el resultado inesperado que Albert Michelson y Edward Morley llevaron a cabo en 1887, (...) Einstein confirmó repetidas veces que, de hecho, el experimento de Michelson y Morley tuvo muy poca o ninguna influencia en la elaboración de su teoría.

Esto quiere decir que todos los textos de Física afirman algo falso cuando mantienen que la Teoría de la Relatividad nació para explicar el resultado obtenido en aquel famoso experimento y que los físicos relativistas se portan como impostores (aunque de buena fe) cuando, haciendo descender la teoría de la relatividad de un resultado experimental, procuran entenderla como una teoría apoyada sólidamente en hechos, en lugar de reconocerla como una simple especulación matemática, como efectivamente la consideró el propio Einstein en el momento en el que la propuso.

El Prof. A tuvo, sin duda, una iniciativa innovadora, sin embargo, cometió el equívoco de hacer demasiado tarde esas aclaraciones, o sea, de no exponer abiertamente sus objetivos antes de iniciar la observación en la cámara oscura y las subsiguientes discusiones, pues a aquellas alturas parece que los alumnos no le dieron la atención debida y el clima de ansiedad persistió. Acostumbrados a clases tradicionales, repetimos, continuaban esperando la explicación de la "verdad".

De hecho, tal vez fuese el momento de que el profesor expusiese los conceptos y teorías científicamente aceptadas para explicar los fenómenos ópticos. Pero él prefirió un camino intermedio y dijo que las conclusiones a

que los alumnos habían llegado serían tomadas como verdaderas. En ese clima terminó la clase.

En las clases siguientes, el profesor se vio obligado a cambiar de estrategia, debido al tiempo escaso para presentar el contenido restante. Pasó a introducir conceptos de cuerpos luminosos, iluminados, velocidad de la luz, absorción, reflexión, refracción, formación de imágenes, espejos planos, esféricos, etc., siguiendo un ritmo acelerado y en el mismo orden en que aparecían esos asuntos en el material didáctico.

Prof. A: Tenemos aquí dos triángulos formados por los rayos a través del orificio, que son semejantes. (...) El tamaño del objeto lo llamamos "o"; por conveniencia, llamaremos la altura de la imagen formada "i"; la distancia del objeto al agujero es "do"; la distancia de la imagen al agujero la llamados "di". Ahora, por semejanza de triángulos, se puede mostrar, ya que los ángulos internos son iguales, que: $i/o = do/di$ (...).

En la vigésima tercera clase, hicimos una pequeña intervención para decir que los rayos del sol que atraviesan entre las hojas de los árboles también se portan como en una cámara oscura proyectando en el suelo imágenes del sol. Los alumnos oyeron en silencio, y el silencio nos hizo creer, una vez más, que es muy importante que el profesor exponga las explicaciones científicas buscando lo contradictorio con las concepciones alternativas de los alumnos, y así intentar evitar que se perpetúen tales ideas (no científicas).

Al final de aquella clase, el profesor presentó las reglas del proyecto bimestral: *escribir un texto con aproximadamente dos páginas sobre el tema "luz y color" con explicación conceptual de la luz, descripción de algún experimento relacionado con el tema, resultados, conclusiones, etc.* El trabajo sería realizado en grupo y presentado a partir del 04/12/07.

Las clases siguientes siguieron una estrategia tradicional y más acelerada. En la clase 28, el 14/11/2007, el profesor pasó lista rápidamente y habló de espejos planos.

Prof. A: (...). Todo ocurre como si viniese la luz de dentro del espejo (...) la imagen se forma donde se encuentran los prolongamientos de los rayos.

Alumna 2: ¿Y qué sentido tiene eso, profesor? El rayo no atraviesa el espejo. ¿Por qué todo pasa "como si"?

El profesor podría haber aprovechado esa analogía para introducir la idea de la luz como constituida de fotones. Pero el profesor no exploró ese aspecto. Tampoco se refirió a la luz como onda, en suma, no explicitó lo que la Física entiende por luz, sea en el aspecto clásico o cuántico.

Los alumnos, a veces, daban muestras de que no creían que las cosas aconteciesen de la forma como eran expuestas y la expresión comúnmente usada por el profesor *"todo ocurre como si..."* parecía reforzar esas sospechas.

Podemos ver un claro ejemplo de esas concepciones en la clase 34, el 28/11/2007, cuando el asunto era espejos esféricos. Ese día la clase estaba especialmente agitada.

Prof. A: (...) Lo que yo quiero discutir son los 4 rayos que por seguir las reglas de la reflexión se comportan bien (...) Rayo 1: va paralelo al eje principal en dirección al espejo y se refleja como si hubiese venido del foco. (...) Rayo 2 es el que va en dirección al espejo, pasando por el foco y se refleja paralelamente al eje principal.

Alumno 1: ¡Qué mentira! (El profesor no oyó la aserción en medio del ruido de la clase).

Indagamos: ¿Tú no crees que eso pueda ocurrir?

Alumno 2: ¿Cómo va a saber eso el rayo? ¿Cómo sabe que tiene que pasar por el foco y salir así tan recto?

Investigadora: Si usas un láser de bolígrafo podrás visualizarlo. Podrás ajustar el láser para que se quede exactamente paralelo al eje; verás que incide y es reflejado por el espejo, y va a pasar por un punto que nosotros lo podemos marcar y que coincide con el foco. Es así como lo verifican los científicos...

El alumno reflexionó durante algunos segundos. Parecía que estaba de acuerdo. Pero manifestaba una profunda convicción de que todas esas reglas no combinaban con la realidad. O sea, la naturaleza sigue su curso y no tiene el compromiso de reconocer o seguir reglas inventadas por el hombre. Todo el esfuerzo epistemológico del profesor parecía, en esos momentos, ineficaz. Era como si el alumno dijese: vale, es el hombre quien inventa las teorías, pero la naturaleza no lo sabe, tampoco las reconoce. Era evidente que no tenía la percepción de que las teorías apenas intentan explicar el comportamiento de la realidad lo más posible. Esas cuestiones pertinentes a las concepciones de los alumnos eran frecuentes en las clases, pero el profesor difícilmente se daba cuenta pues, invariablemente, consistían en comentarios paralelos, no comunicados abiertamente al grupo. Eran opiniones que de vez en cuando los alumnos dejaban escapar y que muy probablemente no les gustaría exponerlas a toda la clase. Eran personales, indiscutibles y allí permanecerían, quizás, durante mucho tiempo.

Nuestra tentativa de negociación de ideas fue interrumpida por el fin de la clase. Ese tipo de argumento que usamos era bien aceptado por los alumnos cuando era debidamente negociado. Algunos, aunque, en general, bastante participativos en las clases, parecían más inclinados a creer que se trataban (las teorías) de artificios del profesor para resolver los problemas y que funcionaban.

En verdad, salimos de aquella clase un tanto desilusionados. Favorecer la libre discusión e incentivar los alumnos a construir o percibir ciertos principios generales de algún tópico de la Física parecía una estrategia muy interesante para motivar, pero no era suficiente para llevar al aprendizaje significativo.

Nos pareció absolutamente necesario el conflicto bien planificado entre los conocimientos previos de los alumnos, incluso los construidos colectivamente por las discusiones, con el conocimiento aceptado por la comunidad científica. Es necesario exponer claramente cuál es la mejor explicación aceptada hasta el momento e intentar mostrar que el fenómeno

es mejor comprendido cuando aceptamos la explicación científica, bajo pena de caer en un relativismo peligroso en que los alumnos empiezan a creer que todo vale, o sea, que su forma de explicar el mundo es tan válida como la científica.

Eso incluye, según parece, los aspectos epistemológicos, o sea, incitar la construcción de una visión contextual de la naturaleza de la ciencia no puede renunciar a la exposición clara de los conceptos, teorías y explicaciones científicamente aceptadas, asociada a la exposición explícita de algunas controversias históricas así como de la visión actual de la naturaleza de la ciencia. *La cuestión epistemológica pasada de forma implícita, esperando que los alumnos, por sí mismos, modifiquen sus creencias y concepciones, en principio, parece ineficaz.*

En la clase 38, el 04/12/07, un día caluroso, sala sin ventilación por falta de energía eléctrica, el profesor tuvo dificultades para mantener el control de la clase, e iniciaron las presentaciones de los trabajos de grupo "luz y color".

Se presentó el Grupo 1, de cuatro alumnos.

Grupo 1-Alumno 1: (...) Luz es una energía luminosa (...) la luz del sol está compuesta por 7 colores: violeta, añil, azul, verde, amarillo, naranja y rojo.

Grupo 1-Alumno 2: Fuentes monocromáticas: algunos objetos reflejan una o todas las radiaciones. Lo importante es el componente que es reflejado, le da el color al objeto. Luz blanca significa que reflejó todos los colores (...).

Grupo 1-Alumno 3, leyó un texto sobre cómo tiene lugar la percepción de los colores en el ojo humano.

A continuación, el grupo hizo una demostración utilizando un vaso con agua y una linterna intentando descomponer la luz blanca.

Grupo 1-Alumno 1: La linterna sería el sol; el vaso de agua sería la lluvia y los colores que aparecen formarían el arco iris.

Observamos que todos los componentes del grupo tenían escrito en pequeños papeles lo que iban a decir y, los leían cuando no sabían qué decir. Demostraban inseguridad y la impresión general fue la de una presentación mecánica, sin dominio del asunto.

De manera general, los trabajos presentados fueron extremadamente elementales. Esa característica fue una constante en la secuencia de las presentaciones que tuvieron lugar en las clases 39, 40, con finalización de todos los grupos en la clase 41. Ese día también acabaron las clases de Física de aquel año.

Reproducimos, a continuación, parte de la presentación de otro grupo, que tuvo lugar en la clase 39.

Grupo 4, compuesto de 4 niñas.

Grupo 4-Alumno 1: (...). La Óptica Geométrica estudia los fenómenos de la luz, sin preocuparse del origen de la luz (...).

Grupo 4-Alumno 2: La luz puede ser monocromática cuando tiene un color, o policromática cuando está formada por varios colores, como es el caso de la luz blanca (...).

Grupo 3-Alumno 3: El color de los cuerpos es porque reflejan aquella frecuencia (...).

Grupo 3-Alumno 4: (...) Hicimos una experiencia para mostrar que la luz blanca se compone de todos los colores. Usamos una madera como soporte, 3 leds, 1 pelota de ping-pong, 2 pilas, cable y 3 potenciómetros. (...) Tuvimos muchos problemas, hasta ayer aún no funcionaba. Tuvimos dificultades para descubrir cómo encender el potenciómetro, teníamos conexiones equivocadas... El objetivo es mostrar que la unión de tres colores - rojo, verde y azul - forma la luz blanca (...).

Estaba claro que la presentación había sido memorizada, sin la debida comprensión de los conceptos, como los propios alumnos reconocían cuando eventualmente se les preguntaba. Esa situación se repitió en las presentaciones y ponía en riesgo la validez del propio proyecto, en nuestra opinión.

El Prof. A se quejó diciendo que casi todos los grupos intentaron mostrar la separación de la luz, pero que ninguno consiguió explicar por qué sucede eso. El visible desconuelo del profesor dejaba claro que esperaba que los alumnos hubiesen comprendido mejor la luz, el color, el espectro, la propagación y todos los demás conceptos asociados, durante la preparación del proyecto "luz y color", que culminaba con las presentaciones de los grupos. Eso, de hecho, no ocurrió y el profesor parece que se dio cuenta solamente al final.

Nuestra impresión general fue de que aquella clase concluyó el año lectivo sin comprender qué es luz, color, espectro visible, frecuencia, largura de onda, en fin sin una alfabetización científica de esos aspectos de la naturaleza y, tal vez, también de los aspectos epistemológicos de cómo la ciencia construyó esas explicaciones y de las controversias que implicó e implica ese proceso.

Algunas conclusiones de este estudio de caso (Estudio III)

Desde el punto de vista del investigador, el proceso de la clase se compone de un conjunto de complejos aspectos imbricados e igualmente importantes: profesor, alumnos, ambiente físico, currículo, actividades, acciones y actitudes de enseñanza y aprendizaje. Por este motivo, nuestro análisis hace referencia a varios de esos aspectos sin separar uno u otro, intentando hacer un enfoque de contexto.

Aspectos relacionados al comportamiento pusieron de manifiesto relaciones de compañerismo, amistad, cooperación y respeto. Aunque en las clases fuesen frecuentes las conversaciones y los ruidos, eran compatibles con la edad de aquel grupo de adolescentes y fueron enfrentadas por el profesor de forma pacífica, y en ciertos momentos servían incluso para fortalecer las relaciones sociales entre compañeros y entre el profesor y los alumnos.

Las clases del Prof. A, claramente, enfatizaron la comprensión de los aspectos conceptuales en detrimento de cálculos y resolución de problemas, lo que es una actitud loable en busca del aprendizaje significativo y de la formación de espíritus más críticos. La memorización de fórmulas y la resolución intensiva de ejercicios parece favorecer más el aprendizaje mecánico, como enfatiza Ausubel. No obstante, no subestimamos la importancia del desarrollo de habilidades matemáticas y de cálculo, absolutamente necesarias para la comprensión de la Física. Sin embargo, si queremos una "Física para todos" tendrá que ser necesariamente más accesible y tener lógica para el alumno.

El profesor procuraba llevar para la clase objetos e instrumentos simples intentando demostrar fenómenos físicos, tanto en la Termodinámica como en la Óptica Geométrica, y siempre se esforzó para asociar los conceptos físicos a la vida cotidiana. Esas actitudes eran, en general, muy apreciadas por los alumnos, pues casi siempre se mostraban interesados y muchas veces los animaba a arriesgar tentativas de explicaciones de fenómenos del día a día e incitaban curiosidades y aspectos más generales de la Física.

El resultado inmediato de ese proceso más participativo, o si se prefiere, menos tradicional en las clases de Física (repetimos, más orientado a la comprensión de los fenómenos y con relativamente poco cálculo) generaba un nivel de motivación que consideramos bueno. De manera general, los alumnos decían que les gustaba la Física o por lo menos nunca oímos declaraciones de aversión. No todos, pero buena parte de los alumnos parece que, en muchos momentos, sacaron de las discusiones de clase enseñanzas y reflexiones que, arriesgaríamos a decir, que las llevaron para la vida.

Esa estrategia del Prof. A sin duda facilitaba la autocrítica de las propias creencias y concepciones de los alumnos, desde el punto de vista de la Filosofía de la Ciencia. Las concepciones epistemológicas contextuales del Prof. A facilitaban considerablemente esa tendencia.

Sin embargo, entendemos que el Prof. A desperdició, a lo largo de las clases en las que abordó y discutió la Óptica Geométrica, grandes oportunidades (en clase, en las discusiones y durante las presentaciones del proyecto) de hablar de los límites de validez de la Óptica Geométrica y abordar conceptos de la Óptica Física, aunque, repetimos, de forma bastante introductiva, y aprovechar para introducir algunos conceptos cuánticos como: dualidad, fotones, difracción, etc. En otras palabras, desaprovechó una oportunidad única de hablar de la Física Moderna, tan carente en la Enseñanza Secundaria.

En ese sentido, el profesor tuvo una actitud pasiva cuando podría haber sido proactivo, desaprovechando todo un ambiente favorable que él mismo había creado. Quizá el Prof. A, como dijimos, esperase que los alumnos comprendiesen ciertos conceptos al preparar las investigaciones del proyecto "luz y color". Sin embargo, creemos que sería esperar demasiado de los alumnos, que no estaban preparados para tal iniciativa, y tal vez justamente por este motivo las presentaciones hayan sido pobres, dejando evidente la falta de comprensión de aspectos conceptuales fundamentales. Lagunas que probablemente no serán suplidas para la mayoría de aquellos

alumnos en sus vidas, a menos que escojan carreras profesionales directamente relacionadas con la ciencia.

Buscando responder preliminarmente una de las cuestiones centrales de la investigación, entendemos que las estrategias didácticas del Prof. A fueron innovadoras y válidas, intentando facilitar el aprendizaje significativo de los contenidos de Física abordados. Sin embargo, en sus intentos de transponer sus propias convicciones epistemológicas, que como ya se dijo, eran adecuadas a las "visiones epistemológicas contemporáneas" hizo uso frecuente de estrategias implícitas, promoviendo discusiones para que los alumnos llegasen tentativamente a las explicaciones y así concluyesen por sí mismos sobre la naturaleza de la ciencia. No utilizó explicaciones claras y explícitas sobre cómo obtienen los científicos las leyes y teorías, no abordó controversias ocurridas en la historia de los conceptos y teorías, de forma que estamos convencidos de que todos los intentos de abordar cuestiones epistemológicas sólo quedaron claras para nosotros, que percibíamos sus intenciones. No para los alumnos. Además, sus clases fueron perjudicadas por la falta de planificación específica de las clases, ausencia de explicaciones claras en momentos oportunos, tanto desde el punto de vista del contenido como de la visión de la naturaleza de la ciencia, permitiendo frecuentemente la pérdida de objetividad y desvío del asunto en estudio.

Es posible inferir también, preliminarmente, repetimos, que la inclusión de estrategias y elementos con el objetivo de preparar tanto profesores como alumnos para un mejor y más efectivo entendimiento de la naturaleza de la ciencia es aún un proceso incipiente y probablemente de largo plazo. Enfrenta tanto las creencias muy arraigadas de profesores ya actuantes, como la falta de preparación de los profesores más jóvenes y las estrategias aún muy convencionales de la mayoría de las otras disciplinas que se enseñan en la escuela (especialmente Química y Biología). La ausencia, a excepción de algunas iniciativas aisladas, de esa preocupación contextual y filosófica en las demás disciplinas sugiere que la iniciativa del Prof. A, repetimos, importante y válida, fue aislada y tenía frecuentemente el efecto de dejar los alumnos angustiados y confusos.

Como se puede ver en esta descripción de la clase, en pleno siglo XXI cuando se habla de tercera revolución industrial, cuando disponemos de enorme capacidad de producción de tecnología de información fruto de una industrialización impulsada por la expansión de la Física Moderna y Contemporánea, aún enseñamos una Física limitada, muy desconectada de nuestra realidad social y tecnológica, y con bases reflexivas incipientes.

Los grandes temas, como por ejemplo la Cosmología, el papel periférico del hombre y de nuestra localización en la galaxia, la transitoriedad de la vida en nuestro planeta, la inclusión de la Física Moderna, la necesidad de preservación ambiental y otros muchos temas en esa línea no se pueden excluir de una enseñanza de Física con enfoque explícito y epistemológicamente más contextualizado, además, sin duda, de un contenido planificado y bien articulado. Decididamente, no es lo que tenemos hoy.

Referencias bibliográficas

Angotti, J.A.P. (2002). Física e Epistemologia Heterodoxas: David Bohm e o ensino de ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 19, número especial, 126-156.

Bachelard, G. (1988). *La Philosophie du Non*. Tradução de Joaquim José Moura Ramos, *A Filosofia do Não*. Lisboa: Editorial Presença.

Bunge, M. (1960). *La Ciencia su método y su filosofía*. Buenos Aires: Ediciones Siglo Veinte.

Bunge, M. (1974). *Teoria e Realidade*. São Paulo: Editora Perspectiva.

Bunge, M. (2000). *Física e Filosofia*. Tradução de Gita K. Guinsburg. São Paulo: Editora Perspectiva.

Chalmers, A.F. (1999). *O que é ciência afinal?*. Tradução de Raul Fiker, 1ª ed., 3ª reimpressão, São Paulo: Editora Brasiliense.

Chassot, A.I. (1998). Fazendo uma oposição ao presenteísmo com o ensino de filosofia e história da ciência, *Episteme*, Porto Alegre, 3, 7, 97-107.

Davson-Galle, P. (2004). Philosophy of Science, Critical Thinking and Science Education. *Science & Education*, 13, 6, 503-517.

Erickson, F. (1986). *Qualitative Methods in Research on Teaching*. In M.C. Wittrock (Ed), *Handbook of Research on Teaching*, 3rd. edition, New York: Macmillan.

Feyerabend, P. (1975). *Contra o Método*. Tradução de Octanny S. da Mota e Leonidas Hegenberg, Rio de Janeiro, Francisco Alves, 1989. Título Original: *Against Method*.

Gonzalez-Espada, W.J. (2003). A last chance for getting it right: addressing alternative conceptions in the physical sciences. *The Physics Teacher*, 41, 36-38.

Justi, R. (2006). La Enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24, 2, 173-184.

Kuhn, T.S. (1978). *A Estrutura das Revoluções Científicas*. São Paulo: Editora Perspectiva.

Khishfe, R. e F. Abd-El-Khalick (2002). Influence of Explicit and Reflective versus Implicit Inquiry-Oriented Instruction: on Sixth Graders' Views of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 7, 551-578.

Lakatos, I. (1993). *Metodología de los Programas de Investigación Científica*. Madrid: Alianza.

Laudan, L. (1977). *El Progreso y sus Problemas*. Madrid: Encuentro Ediciones.

Lederman, N.G.; Abd-El-Khalick, F.; Bell, R.L. y R.S. Schwartz (2002). Views of Nature os Science Questionnaire: Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 6,497-521.

Lederman, L.M. (2005). Physics First?. *The Physics Teacher*, 43, 1, 6-7.

McAdam, J.E. (1990). The persistent stereotype: children's images of scientists. *Physics Education*, 25, 2, 102-105.

Massoni, N.T. (2005). *Estudo de Caso Etnográfico sobre a Contribuição de diferentes Visões Epistemológicas Contemporâneas na Formação de Professores de Física*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Física, UFRGS.

Massoni, N.T. y M.A. Moreira (2007). Um estudo exploratório sobre a contribuição de visões epistemológicas contemporâneas na transformação das concepções de professores de Física atuantes. *Tecné, Episteme y Didaxis-TEA*, 22, 5-31.

Massoni, N.T. y M.A. Moreira (2007). O cotidiano da sala de aula de uma disciplina de História e Epistemologia da Física para futuros professores de Física, *IENCI*, 12, 1, 7-54.

Moreira, M.A.; Massoni, N.T. y F. Ostermann (2007). História e Epistemologia da Física na licenciatura em Física: uma disciplina que busca mudar concepções dos alunos sobre a natureza da ciência. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29, 1, 127-134.

Matthews, M.R. (1995). História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 12, 3, 164-214.

Maturana, H.R. (2001). *Ciência, Cognição e Vida Cotidiana*. Editora da UFMG.

Meichtry, Y.J. (1993). The Impact of Science Curricula on Students Views about the nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 5, 429-443.

Moreira, M.A. (2006). *Mapas Conceituais & Diagramas V*. Porto Alegre, Ed. do autor.

Moreira, M.A. (1999). *Aprendizagem Significativa*. Brasília: Editora UnB (coleção Publicações Acadêmicas do CESPE/UnB).

Moreira, M.A. (1983). *Ensino e Aprendizagem: enfoques teóricos*. São Paulo: Editora Moraes, 3ª Edição.

Moreno Gonzales, A. (2006). Historia e Epistemologia das Ciências. *Enseñanza de las Ciencias*, 24, 3, 411-428.

Popper, K. (1982). *Conjecturas e Refutações*. Brasília: Ed. UNB.

Popper, K. (1985). *Lógica da Pesquisa Científica*. São Paulo: EDUSP.

Ryder, J.; Leach, J. y R. Driver (1999). Undergraduate Science Students' Images of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36, 2, 201-219.

Sheppard, K. y D.M. Robbins (2003). Physics was once first and was once for all. *The Physics Teacher*, 41, 420-423.

Toulmin, S. (1977). *La Comprensión Humana*. Tradução de Nestor Miguez. Madrid: Alianza.

Trocchio, F. (2005). *Las Mentiras de la ciencia*. Tradução de Constanza V. Meyer. Madrid: Alianza Editorial.