

## La enseñanza de Física en una escuela militar ¿Una herencia behaviorista?

Neusa T. Massoni, Marco Antonio Moreira

neusa.massoni@brde.com.br , moreira@if.ufrg.br

<sup>1</sup>Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Caixa Postal 15051, 91501-970, Porto Alegre, RS Brasil

### Resumen

El presente estudio de caso es una etnografía de aulas en la que se describe comprensivamente el cotidiano de la asignatura de Física en una clase de segundo año de Enseñanza Secundaria de una escuela militar. El estudio compone un conjunto más amplio de estudios etnográficos en diferentes tipos de escuelas y también en el contexto de la enseñanza superior, que tuvo por objetivo investigar posibles contribuciones de aspectos relacionados a la naturaleza de la ciencia como estrategia potencialmente útil para la mejora de la enseñanza de la Física. El profesor de Física observado no tuvo en su formación asignaturas de Epistemología, de manera que también fue objetivo de la investigación identificar sus concepciones epistemológicas y posibles relaciones entre esas concepciones y las prácticas docentes privilegiadas por él. La investigación reveló una realidad de aula y un contexto escolar que favorecen un cuestionamiento sobre la presencia de herencias del esquema behaviorista o comportamentalista, aunque revestidas con otros ropajes, y en qué medida esas herencias pueden ser tomadas como nefastas.

**Palavras chave:** enseñanza de Física, etnografía de aulas, visiones epistemológicas contemporáneas, teorías de aprendizaje comportamentalistas.

### Physics education in a military school: a behaviorist inheritance?

#### Abstract

This case study consists of a classroom ethnography in which the daily basis of physics as a discipline in a classroom of students of the second year of high school, in a Brazilian military school, is described. It comprises a set of more comprehensive ethnographic studies in different types of schools as well as in the context of higher education teaching. It aims at investigating possible contributions of aspects related to the nature of science as a potentially useful strategy for the improvement of physics teaching. The observed physics teacher did not have in his schooling any formal study of epistemological disciplines, so that it was also the goal of this research the identification of his epistemological conceptions and of any feasible relationships between these conceptions and his teaching praxis. Research findings suggested a classroom reality and a school context that seemed to favor cross-examining the existence behaviorist legacy, although under a different disguise, as well as the need to reflect upon the extent to which this legacy can be considered harmful.

**Keywords:** physics teaching, classroom ethnography, contemporary epistemological views, behavioral learning theories.

### Ensino de Física em uma escola militar: uma herança comportamentalista?

#### Resumo

O presente estudo de caso é uma etnografia de sala de aula em que se descreve comprensivamente o cotidiano da disciplina de Física em uma turma do segundo ano do Ensino Médio de uma escola militar. O

estudo integra um conjunto mais abrangente de estudos etnográficos em diferentes tipos de escolas e também no contexto do ensino superior, que teve por objetivo investigar possíveis contribuições de aspectos relacionados à natureza da ciência como estratégia potencialmente útil para a melhoria do ensino da Física. O professor de Física observado não tivera em sua formação disciplinas de Epistemologia de forma que também foi objetivo da pesquisa identificar suas concepções epistemológicas e possíveis relações entre essas concepções e as práticas docentes por ele privilegiadas. A investigação revelou uma realidade de sala de aula e um contexto escolar que favorecem um questionamento sobre a presença de heranças do esquema behaviorista ou comportamentalista, ainda que revestidas com outras roupagens, e em que medida essas heranças podem ser tomadas como nefastas?

**Palavras-chave:** ensino de Física, etnografia de sala de aula, visões epistemológicas contemporâneas, teorias de aprendizagem comportamentalistas.

## Enseignement de la physique dans une école militaire: un héritage comportementaliste?

### Résumé

Cette étude de cas consiste en une l'ethnographie dans laquelle de la journée de la physique comme discipline dans une classe d'élèves de la deuxième année de lycée, dans une école militaire brésilienne, est décrite. Il comprend un ensemble d'études ethnographiques dans différents types d'écoles et aussi dans le contexte de l'enseignement au niveau supérieur. Il vise à la recherche sur les contributions possibles des éléments en ce que concerne la nature de la science comme une stratégie potentiellement utile pour l'amélioration de l'enseignement de la physique. Le professeur de physique observé n'a pas eu en son écolarité aucune étude formelle des disciplines épistémologiques, ainsi que l'identification de ses conceptions épistémologiques et des relations possibles entre ces conceptions et sa praxis pédagogique sont devenues également des objectifs de cette recherche. Les résultats de cette étude peuvent suggérer une réalité de classe et un contexte d'école où il semble possible de s'enquérir l'existence d'un héritage comportementaliste, cependant sous une présentation différente, et aussi la nécessité de réfléchir dans quelle mesure cet héritage comportementaliste peut être considéré nocif.

**Mots-clés:** enseignement de la physique; ethnographie de classe; vues épistémologiques contemporaines; apprentissage comportementaliste.

## 1. INTRODUCCIÓN

Desarrollar el pensamiento crítico y reflexivo está entre los principales objetivos de una educación científica de calidad. Ofrecer a los estudiantes en los diferentes niveles escolares una comprensión contextualizada de los saberes científicos presupone presentar críticamente los contenidos de enseñanza, sus implicaciones en la vida de las personas y proporcionar discusiones sobre los procedimientos, los objetivos y la naturaleza de la ciencia. Todo eso como forma de disminuir el analfabetismo científico y formar ciudadanos participativos y mejor preparados para un mercado de trabajo cada vez más exigente. En ese sentido, repensar el papel del profesor de Física en la Enseñanza Secundaria y sus estrategias didácticas asume gran importancia para alcanzar mejoras en el proceso de enseñanza y aprendizaje de esa asignatura.

La descripción comprensiva del día a día de las clases de la asignatura de Física de un grupo de Enseñanza Secundaria es presentada en este trabajo como forma de auxiliar los profesores de Física a reflexionar sobre sus prácticas didácticas, especialmente en cuanto al uso de aspectos relacionados con la naturaleza de la ciencia para generar discusiones e incentivar la reflexión crítica de educandos y educadores. Este trabajo también puede incentivar a otros investigadores de Enseñanza de Física a investigar contextos

semejantes en diferentes locales y en distintas culturas escolares para, de esa manera, obtener valiosas informaciones con el objetivo de mejorar tanto el proceso de enseñanza y aprendizaje de la Física, como la inserción de la historia y filosofía de la ciencia en la educación científica.

La literatura es rica en trabajos que defienden la inserción de nuevas visiones epistemológicas y de la historia de las ciencias en la enseñanza de ciencias, en los diferentes niveles de la educación, como manera de hacer la enseñanza menos dogmática. Muchos investigadores argumentan que los profesores que tienen visiones alineadas a las llamadas a visiones epistemológicas contemporáneas pueden estar mejor preparados para: promover el cambio conceptual en sus alumnos (Hashweh, 1996; Sandoval, Cudmani y Madozzo, 1995); presentar la Física como una construcción humana a través de la contextualización histórico-teórica y experimental y de la discusión de las controversias (Renn, 2004; Moreira, 2007; Pleitez, 2008; Eshach, 2009; Silveira y Medeiros, 2009); hacer uso de textos apropiados y discusiones orientadas para transformar las concepciones, generalmente ingenuas, de los estudiantes sobre la naturaleza de la ciencia (Amorim, 1999; Teixeira, El-Hani y Freire, 2001; Lederman *et al.*, 2002; Shibley, 2003; Blanton, 2004; Köhnlein y Peduzzi, 2005; Mason, Boldrin y Zurlo, 2006; Morrison, Raab e Ingram, 2009), mejorar la comprensión de la Física a través de la construcción y

utilización de modelos científicos (Erkina, Warren y Gentile, 2006; Justi, 2006; Ryder y Leach, 2008), usar la historia de la ciencia como herramienta para mejorar el entendimiento de la naturaleza de la ciencia (Solomon *et al.*, 1992; Solbes y Traver, 2001; Silveira y Peduzzi, 2006; Silva y Moura, 2008); para hacer las leyes de la Física menos “mágicas” y disociar el conocimiento científico del “descubrimiento” de leyes y verdades absolutas (Chassot, 1998; Gonzáles-Espada, 2003; Guisasola y Morentin, 2007; Liu y Tsai, 2008; Ibrahim, Buffler y Lubben, 2009). En suma, se argumenta en prol de una enseñanza de ciencias en la que los estudiantes aprendan algo sobre la naturaleza de las ciencias, sobre las implicaciones sociales y ambientales de las ciencias, con el objetivo de modificar las visiones de mundo de estudiantes y profesores, disminuyendo así el analfabetismo científico (Angotti, 2002; Adúriz-Bravo *et al.*, 2002; Gil Pérez y Vilches, 2004; Matthews, 1995; Matthews, 2009.a; 2009.b)

La metodología de investigación cualitativa en educación, especialmente la de naturaleza etnográfica utilizada en este trabajo, es una estrategia potencialmente útil para describir y analizar con riqueza de detalles del día a día de una cultura. En este caso, se enfocó la cultura de las aulas. El beneficio de ese tipo de estudio es que confiere sustancia y significación a la investigación que es participante y busca comprender los significados de los eventos y acciones desde la perspectiva de los alumnos y del profesor en aquel escenario particular, cómo se organiza el profesor y cómo se relaciona con los sistemas externos todo lo que ocurre allí. Todo eso, según Erickson (1986, p.119), le confiere a la investigación cualitativa un carácter interpretativo.

## 2. APORTE TEÓRICO-EPISTEMOLÓGICO

Se entiende por *teoría de aprendizaje* una construcción humana que intenta sistematizar el área de conocimiento que llamamos de aprendizaje. Subyacentes a las teorías de aprendizaje están las filosofías o visiones de mundo (Moreira, 1999, p.12/13). El comportamentalismo es una visión de mundo en la que el elemento principal es el comportamiento observable y mensurable, o sea, las respuestas que el sujeto le da a los estímulos externos y sus consecuencias. El behaviorismo surgió en el principio del siglo pasado en Estados Unidos como una reacción al mentalismo que predominaba en Europa en aquel período. Fue fundado por John B. Watson (1878-1958), que supuso que *el comportamiento incluye respuestas que pueden ser observadas y relacionadas con eventos que las preceden (estímulos) y las suceden (consecuencias)*. Su objetivo es llegar a *leyes que relacionan estímulos, respuestas y consecuencias* (op. cit., p. 21). Por esa razón, la teoría de Watson, así como las de Edward L. Thorndike (1874-1949), Clark L. Hull (1884-1952), Edwin R. Guthrie (1886-1959) y en período más reciente B.F. Skinner (1904-1990) fueron llamadas *teorías conexionistas*, o sea, presuponen la existencia de conexiones entre estímulos y respuestas (E-R).

Según Skinner, lo que interesa es el comportamiento observable y no hay que preocuparse por los procedimientos intermediarios entre el estímulo (E) y la respuesta (R). En el *input*, el *estímulo* (evento que afecta los sentidos del sujeto) y el *refuerzo positivo* (evento que resulta en el aumento de

la frecuencia de un acto que inmediatamente lo precedió) son considerados las variables más importantes, mientras que las respuestas que el aprendiz da al estímulo y al refuerzo positivo constituyen el *output*.

Son ésas las ideas básicas que intentaremos asociar a lo observado en el contexto de enseñanza del presente estudio de caso etnográfico, pues, como veremos, esas ideas se aplican.

Desde el punto de vista epistemológico, hay que mencionar que el profesor investigado no había tenido las asignaturas de Epistemología o Filosofía de la Ciencia, mientras dos otros profesores investigados en el estudio más amplio habían tenido una iniciación en Epistemología. Eso fue hecho con el objetivo de investigar posibles relaciones entre concepciones epistemológicas de profesores de Física y sus prácticas didácticas. Pero dicha investigación más amplia en la que está inserto el estudio de caso trabajó con las posturas de algunos de los principales Filósofos de la Ciencia que destacaron a lo largo del siglo XX, surgidas inicialmente para combatir la visión empirista-inductivista de la ciencia, como las posturas de: Karl Popper (1982), Thomas S. Kuhn (1978), Imre Lakatos (1993), Gaston Bachelard (1988), Larry Laudan (1977), Humberto Maturana (2001), Paul Feyerabend (1989), Stephen Toulmin (1977) y Mario Bunge (1960).

A través de esas visiones, llamadas aquí “visiones epistemológicas contemporáneas o VECs, se pasó a defender, en grandes líneas, que la ciencia es una construcción humana; que el conocimiento científico no nace de la observación pura e ingenua como defendían los empiristas-inductivistas; que toda observación está cargada de presupuestos teóricos; que las leyes y teorías de la Física, y de la ciencia en general, tienen naturaleza hipotética, conjetural; que las leyes y teorías no son verdades fijas e inmutables, pero se aceptan provisionalmente hasta que aparezcan nuevas y mejores explicaciones, con mayor capacidad predictiva; que los conceptos, las leyes, las teorías, los modelos científicos evolucionan con el tiempo y con los desarrollos de la ciencia; el conocimiento científico no es lineal y acumulativo; que elementos no racionales como imaginación, creatividad e intuición forman parte del proceso de la ciencia; que no existe un “método científico” universal, ahistórico y algorítmico para hacer ciencia, pero distintos procedimientos metodológicos pueden estar implícitos en diferentes ramas de la ciencia; que la competición entre teorías y programas de investigación fomenta el crecimiento de la ciencia; que las teorías científicas no son descubiertas, sino que se proponen tentativamente y verificadas experimentalmente, en alguna medida; que las comunidades científicas, los periódicos, los congresos y encuentros estimulan, y también filtran, las nuevas ideas científicas; que la instrumentación y la técnica son fundamentales para la creación de nuevos hechos y para el avance de la ciencia.

Las distintas visiones sobre la naturaleza de la ciencia no son consensuadas, la principal característica de las llamadas VECs es justamente su diversidad y, por ese motivo, no se discutirán aquí de forma profunda para no alargar demasiado el texto. Pero es importante destacar que la literatura en el área de investigación en Enseñanza de Física

ofrece una gama de artículos y trabajos de buena calidad que presentan diferentes interpretaciones de posturas epistemológicas, destacando las ventajas de su uso en la enseñanza. La lectura de las obras originales de éstos y otros filósofos de la ciencia es altamente recomendada para incentivar la autorreflexión de los profesores sobre la importancia de enseñar Física hablando *de la Física y sobre la Física* y, así, estimular la formación de ciudadanos más críticos y reflexivos. En Moreira y Massoni (2011) se ofrece una introducción a las VECs.

Bajo esa perspectiva, que constituye el fundamento del debate epistemológico contemporáneo, es que conducimos en la observación de distintas culturas escolares, con el objetivo de verificar en qué medida están presentes esas ideas, y si están presentes en la enseñanza y en el aprendizaje de Física en nuestros días.

### **3. DESCRIPCIÓN DE LA ESCUELA Y DEL PÚBLICO QUE ABARCA ESTE ESTUDIO DE CASO**

El estudio de caso objeto de este trabajo fue desarrollado, en Brasil, en una escuela militar de Enseñanza Secundaria. La escuela, casi centenaria, ocupa un edificio histórico en la región central de una capital brasileña, presenta excelente infraestructura, con aulas amplias, laboratorios adecuadamente equipados, instalaciones bien conservadas e impecablemente limpias y organizadas, lo que le confiere a la escuela un aspecto imponente.

Con larga tradición de eficiencia, disciplina, valores morales y enseñanza de buen nivel, esa escuela proporciona a sus alumnos educación básica no centrada en la preparación militar, a no ser para los alumnos que hacen opción por la carrera militar. La entrada tiene lugar a través de concurso público, tanto para los alumnos como para los docentes. Posee estructura administrativa compuesta prioritariamente de militares y un reglamento interno con reglas bien definidas y claras con relación al programa de enseñanza, evaluación, frecuencia, disciplina, uniformes, horario, etc. La estructura de enseñanza tiene el objetivo de implementar una adecuada programación, organización y dirección de la educación, contemplando: supervisión escolar, secciones y subsecciones de enseñanza y de psicopedagogía. Los alumnos son acompañados en su desarrollo escolar y las actividades de refuerzo son ofrecidas y recomendadas siempre que el rendimiento individual, medido por las evaluaciones escritas, se caracteriza como bajo. La escuela dispone también de actividades extracurriculares en diferentes temáticas y biblioteca con amplio acervo de libros, revistas y periódicos, entre otras facilidades.

La observación participante se dio en las clases de Física de un grupo de 2º año de Enseñanza Secundaria, en el primer semestre del año lectivo, en el período de abril-julio. No hubo grabación en audio o video porque la idea era la de no generar perturbaciones en el ambiente natural de las clases. Entonces, fueron producidos diarios de campo con detalladas descripciones de lo que se pasaba en el aula, con especial atención a manifestaciones, explícitas o implícitas, de concepciones sobre la naturaleza de la ciencia de parte del profesor y de los alumnos. Sin embargo, otros aspectos

de la dinámica del aula fueron registrados y usados como material de análisis. La clase tenía 28 alumnos y la observación comprendió 37 clases, con duración de 50 min cada una, con tres clases de Física semanales, en el turno de la mañana, distribuidas de la siguiente forma: una los jueves y dos consecutivas los viernes, en las dos primeras horas.

El Profesor de Física, que en este estudio lo llamamos simplemente de profesor, es graduado en Física y en Ingeniería; concluyó las carreras hace varios años, no tuvo asignaturas específicas de Epistemología o análogas, pero dijo que se interesaba por el asunto. Da clases también en la Facultad de Ingeniería de una universidad privada con buena reputación en la región. Tiene gran experiencia docente, es autor de libros de Física para la Enseñanza Secundaria y se destaca, al igual que la escuela, por el cuidadoso cumplimiento del contenido de la asignatura, que es bastante amplio.

### **4. EL OBJETIVO**

Este estudio de caso, como ya se ha dicho, es una etnografía de aula y tuvo como objetivo principal llegar a una comprensión descriptiva de la realidad de las clases de una escuela militar; intentó identificar las concepciones sobre la naturaleza de la ciencia del profesor y las relaciones (si hubiese) con las estrategias didácticas que él priorizaba y con la enseñanza y aprendizaje de la Física, en aquel contexto particular. Teniendo en cuenta que el docente de Física observado no tuvo iniciación en Filosofía de la Ciencia en su formación, procuramos también vislumbrar diferencias o semejanzas perceptibles, o no, con relación a otras realidades escolares observadas, donde las concepciones epistemológicas de los profesores eran anticipadamente conocidas y eran, por lo menos parcialmente, alineadas a las VECs.

### **5. EL DÍA A DÍA DE LAS CLASES DE UNA ESCUELA MILITAR DE ENSEÑANZA SECUNDARIA**

La observación participante tuvo inicio el día 03 de abril. Ese día, y por exigencia de la escuela, nos pusimos una bata blanca y finalmente nos dirigimos al aula, que pasaría a ser “nuestro laboratorio” en los meses siguientes. Llegamos temprano, bastante antes del inicio de la clase, pues puntualidad era un requisito importante en aquella escuela y nos quedamos aguardando al profesor en el inmenso pasillo que daba para el aula.

En la entrada, tuvimos una sorpresa porque, de hecho, no entramos. En compañía del profesor, nos quedamos en la puerta del aula hasta que el “alumno encargado” en aquella semana puso la clase “en forma”, es decir, todos los alumnos de pie, en posición de sentido y en silencio absoluto, para la presentación formal de la clase al profesor, que la recibió, también formalmente. Esa ceremonia se repetía todos los días y a cada cambio de período, aun cuando fuese con el mismo profesor. Sólo después entramos en la clase. Nuestra primera impresión fue de que estábamos en un evento altamente formal.

Pero esa impresión enseguida se deshizo porque a pesar de las formalidades, siempre cumplidas con impecable disciplina, el clima en la clase era mucho más relajado. El profesor, un veterano de profesión y de escuela, tenía una manera divertida de ser y frecuentemente gastaba pequeñas bromas, aunque el comportamiento general de los alumnos fuese absolutamente respetuoso. Él hacía eso, por lo que parecía, para hacer la clase menos ceremoniosa. Los alumnos no se levantaban, ni circulaban por el aula sin permiso, y las conversaciones eran mínimas, por no decir inexistentes, durante las exposiciones del profesor. Ese aspecto disciplinar era notable, especialmente si se compara con otros tipos de escuelas (Massoni y Moreira, 2010).

El aula era amplia, aireada, limpia y organizada: sillas en buenas condiciones, alineadas en filas todas del mismo tamaño y a espacios regulares. La organización era impecable. La clase tenía solamente 28 alumnos, aunque el espacio físico de la clase tenía capacidad para mucho más. Las ventanas grandes y claras parecían hacer el ambiente aún más espacioso.

Al inicio de la clase, el profesor hizo algunas observaciones sobre la tercera Evaluación Parcial (EP) y avisó que tendría lugar en la próxima clase. Las EPs, en un total de tres, generalmente en fechas sorpresa, y una prueba más componían la evaluación bimestral. El objetivo de las constantes evaluaciones era hacer que los estudiantes se mantuviesen permanentemente al día con los estudios. Esa secuencia era una norma de la escuela: para cada asignatura, por lo tanto, había una media de una evaluación a cada dos semanas.

Enseguida, y como forma de revisión, el profesor resolvió algunos ejercicios del libro de texto<sup>1</sup>. El asunto en estudio era la Termodinámica:

*(...) ¿este ejercicio pregunta cuál es la temperatura de los libros que se encuentran en un cuarto en que el termómetro de la pared marca 25°C. Bien, se supone que ya haya tenido lugar el equilibrio térmico, es decir, nadie cede ni recibe energía, entonces los libros están a 25°C, en equilibrio térmico con el medio.*

Un alumno preguntó *por qué los metales de la clase, en aquel día frío de otoño, parecían más helados*. El profesor explicó que la sensación térmica se debía a que *los metales retiran más fácilmente el "calor" de las manos, o sea, son buenos conductores de calor*.

Otro alumno, que a partir de aquí será el Alumno 1, preguntó *por qué uno prefiere un espetón de asador con mango de madera a cualquier otro material*. El profesor respondió que *algunos materiales son más aisladores térmicos que otros (...)*.

<sup>1</sup> Física, Vol. Único, Alberto Gaspar, Editora Ática. La obra se compone de innumerables capítulos, presenta pequeños párrafos de introducción histórica, seguidos de explicaciones concisas y varios ejemplos resueltos. Después ofrece una extensa lista de ejercicios con algunas cuestiones conceptuales y un gran número de ejercicios de cálculo, en varios se utilizan gráficos.

Surgieron otras preguntas, pero el profesor pasó para el problema siguiente. Leyó y comentó:

*(...) a través de una convención internacional, se estableció que 0°C sería la temperatura del agua fundente y 100°C la del agua ferviente (...) Celsius propuso, en realidad, lo contrario, pero por convención se cambió. Eso es importante, para que os deis cuenta de que todo es una cuestión de convención...*

La explicación del profesor nos pareció animadora porque al destacar el papel de las convenciones de las comunidades científicas, parecía dar indicios de tener concepciones por lo menos parcialmente alineadas a las visiones epistemológicas contemporáneas, aunque supiésemos que era demasiado pronto para hacer tal suposición.

La cuestión siguiente era también teórica: *¿cómo separar dos vasos encajados uno en el otro sin romperlos?* El profesor dejó la pregunta abierta y oyó durante algunos minutos los varios intentos de explicación de los alumnos, en general coherentes, y al final comentó:

*Entonces, o se calienta el vaso de fuera para dilatarlo o se enfría el vaso de dentro para contraerlo... La cuestión siguiente es: ¿cuándo es más cara la gasolina, en invierno o en verano?*

Hubo un principio de discusión. La clase divergía en los argumentos.

Alumno 2: *En verano hay dilatación y hay menos masa en el mismo volumen, por eso es más cara, ya que pagamos por el número de litros...*

Alumno 3: *En invierno se gasta más para llenar el tanque del coche...*

Alumno 4: *Estoy seguro de que es en verano.*

Profesor: *Pensando en términos de masa, tenemos que un kilogramo de gasolina puede ocupar un volumen diferente en invierno y en verano. Traigan la explicación el próximo día de clase.*

La intervención del profesor cerró la discusión y sugirió que deberían investigar y pensar sobre el asunto. El ejercicio siguiente se refería a la dilatación lineal. Dos barras estaban dispuestas verticalmente, una de aluminio y otra de latón, y se preguntaba la largura inicial de la barra de latón para que una tercera barra apoyada sobre esas dos permaneciese en la posición horizontal. Las resoluciones del profesor eran rápidas y claras:

*Para eso tenemos que exigir que la dilatación lineal del aluminio sea igual a la del latón. O sea:  $\Delta l_{Al} = \Delta l_{latón}$ ;  $(l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T)_{Al} = (l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T)_{latón}$ ;  $(1,2m \cdot 2,4 \cdot 10^{-5} \cdot \Delta T)_{Al} = (l_0 \cdot 1,9 \cdot 10^{-5} \cdot \Delta T)_{latón}$  Simplificando las temperaturas, que son iguales, y las potencias de 10, que son iguales, tenemos que:  $l_0(latón) = (1,2 \times 2,4) / 1,9 = 1,51m$ . Sin embargo, el guarismo significativo es el 5, de forma que la largura inicial del latón debe ser 1,5m. Eso se debe a que la Física viene de la experimentación, de la observación y quien va a*

*definir esto es el aparato de medida* (refiriéndose a la precisión).

Esta última frase parece indicar que el profesor tenía concepciones no alineadas con las visiones epistemológicas contemporáneas porque al decir que *la Física deriva de la experimentación y de la observación* le atribuía un *estatus* de incuestionable que es contrario a la mayoría de las visiones contemporáneas sobre la naturaleza de la ciencia y que sirvieron de fundamento teórico-epistemológico de este trabajo.

Los demás ejercicios fueron en esta línea. La clase, de una única hora, terminó en el mismo tono relajado con que empezó y revelaba características notables de aquel contexto: el silencio, la concentración, la buena participación de los alumnos cuando se les incitaba a pensar y a responder, la preocupación por la detallada resolución de los ejercicios propuestos.

La segunda y tercera clases, el día 04 de abril, empezaron con una revisión sobre la dilatación térmica:

*Toda dilatación es volumétrica. Pero, si consideramos sólo la dilatación lineal usamos  $\Delta l$ , si consideramos la dilatación superficial usamos  $\Delta s$  y cuando tenemos en cuenta las tres dimensiones, usamos  $\Delta v$ , de manera que:  $\Delta l = l_0 \alpha \Delta t$ ;  $\Delta s = s_0 \beta \Delta t$  y  $\Delta v = v_0 \gamma \Delta t$ . Se usa el coeficiente  $\alpha$  en la dilatación lineal...*

El Alumno 1 preguntó: *¿Esto también va a entrar en la EP?* La respuesta afirmativa del profesor y la aprensión de los alumnos mostraban su preocupación con la cantidad de fórmulas que tenían que memorizar y parecían hacerlo acumulativamente. El profesor siguió con la resolución de los ejercicios del libro de texto e incentivaba los alumnos a responder mientras desarrollaba los cálculos en la pizarra. Daba explicaciones claras y objetivas siempre que detectaba dudas. Los alumnos, en general, daban muestras de que ya habían resuelto muchos de los ejercicios, tenían intimidad con el contenido y acompañaban el raciocinio del profesor anticipando en muchos momentos el resultado de los cálculos. Uno de los ejercicios pedía calcular la dimensión final de una barra metálica sometida a determinadas condiciones físicas. El profesor explicó que en aquella situación era necesario usar una variación de la fórmula presentada en el libro de texto:

*En este caso hay que usar  $l = l_0(1 + \alpha \Delta t)$  y, sustituyendo por los datos del problema, tenemos que  $l = 2m[1 + 1,08 \cdot 10^{-5}(40 - 10)] = (2 + 0,000648)m = 2,000648m$ . La cuestión de la precisión es una cuestión de la Ciencia que se basa en la experimentación, en la observación (...). En este tipo de ejercicio es más común equivocarse en la Matemática, no en la Física. (...) Si el problema da los datos con 3 guarismos significativos, la respuesta tiene que ser dada también con 3 guarismos significativos (...). Tenemos ahora un caso de dilatación volumétrica (...). Sabemos que la dilatación aparente es la dilatación del recipiente más la del líquido (...).*

Como se ve, el profesor volvió a decir de forma explícita que la ciencia deriva de la experimentación y de la observación. Karl Popper (2000), en las primeras décadas del siglo pasado, defendió la naturaleza constructiva, conjetural y tentativa de la ciencia, contrariando la visión empirista-inductivista de que la ciencia deriva de enunciados singulares a partir de una base empírica segura. Argumentó que toda observación está cargada de presupuestos teóricos. Sin embargo, el discurso del profesor parecía evidenciar que él tenía concepciones empiristas-inductivistas bastante enraizadas y las pasaba a los alumnos de manera implícita.

Se percibió también que el profesor desarrollaba un ejercicio y enseguida pasaba para otro. El ritmo de las clases era acelerado. Los 25 minutos finales fueron dedicados a la EP. La dinámica fue simple: el profesor avisó que iba a empezar la evaluación; los alumnos inmediatamente reorganizaron la clase, alejaron un poco más las mesas alargando las filas; recibieron las hojas y empezaron a trabajar. Todo sin que el profesor tuviera que intervenir. Todo en silencio y de forma organizada. Parecía, de hecho, que todo aquello era una rutina familiar para aquel grupo de estudiantes.

La clase 4, el día 10 de abril, empezó con 5 minutos de atraso. El profesor, parado en la entrada de la clase, aguardaba la presentación formal mientras que los alumnos, en grupos, continuaban discutiendo la EP de la última clase. En pocos minutos un militar encargado de la disciplina apareció y enseguida los alumnos entraron en forma y recibieron al profesor. La clase fue una continuación de la resolución de ejercicios del libro de texto como preparación para la prueba bimestral. El ejercicio número 20 del capítulo sobre *dilatación térmica* hacía referencia a dos astas de diferentes materiales de longitud  $L_1$  ( $\alpha_1 = 2,3 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) y  $L_2$  ( $\alpha_2 = 1,1 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ), que, sometidas a una diferencia de temperatura, mantenían constante la diferencia entre sus longitudes, equivalente a 1,0 M. Se pedía la longitud de cada asta. Con relación a ese ejercicio, el profesor dijo:

*No voy a resolver el ejercicio, pues al escribir  $\Delta L_1 = \Delta L_2$ , la Física termina aquí, el resto es Matemática (...). Pero, a petición de los alumnos, acabó resolviéndolo y explicándolo:*

*“ $L_1 \alpha_1 \Delta t = L_2 \alpha_2 \Delta t$ ;  $L_1 \cdot 2,3 \cdot 10^{-5} = L_2 \cdot 1,1 \cdot 10^{-5}$ ;  $L_1/L_2 = (1,1 \cdot 10^{-5}) / (2,3 \cdot 10^{-5}) = 0,478$ ”.*

*Ahora es hay que darse cuenta de que  $L_2 - L_1 = 1m$  y que acabamos de obtener  $L_1/L_2 = 0,478$ . Con este sistema de ecuaciones podemos escribir  $L_2 - 0,478L_2 = 1m$ ; o sea, obtenemos que  $L_2 = 1,916m$  y  $L_1 = 0,916m$ , de manera que la diferencia entre las larguras es 1m.*

Una alumna, que estaba a nuestro lado, demostraba dificultades para acompañar el raciocinio del profesor y nos manifestó esa inquietud de forma explícita.

Alumna 1: *¿Conoce algún profesor de Física que dé clases particulares?*

Observadora: *¿Por qué?*

Alumna 1: *¡Odio Física! No consigo entender desde la primera clase. Estudio mucho, hago los*

*ejercicios, pero a la hora de la verdad, me quedo en blanco y no consigo acordarme de nada (...).*

Había, con relación a la asignatura de Física, sentimientos y actitudes controvertidos en aquel grupo de alumnos. Mientras que algunos visiblemente se mostraban motivados en las clases de Física, lo que era perceptible por la participación, por el entusiasmo con que respondían y por la rapidez y precisión de raciocinio, otros parecía que tenían aversión a la asignatura y a veces lo expresaban.

A continuación hicieron nuevos ejercicios. Uno de ellos era conceptual y afirmaba que una chapa de metal tenía un agujero cuya área era mayor que la sección recta de una clavija del mismo material. El profesor explicó:

*Al ser calentados juntos (chapa y clavija) el área del agujero aumenta y la clavija también se dilata. Sin embargo, la relación entre ellos se mantiene, ya que son del mismo material. La dilatación tiene lugar en los dos de forma que la relación es la misma (...).*

Ese problema provocó una pequeña discusión entre los alumnos.

Alumno 2: *¡No entiendo cómo puede ser!/? La clavija solamente se dilata para fuera mientras que la superficie del agujero crece para fuera y para dentro. ¡Entonces la relación no se mantiene!*

Alumno 3: *¡La superficie del agujero se dilata para fuera!*

Alumno 2: *¿Por qué?*

Como la discusión no fue acompañada por el profesor, que estaba ocupado con otros alumnos, intervinimos.

Observadora: *La dilatación es causada por el aumento de la agitación provocada por la temperatura. Luego los átomos de la red tienden a alejarse, la dilatación es para fuera. Si fuese lo contrario tendrían que aproximarse (...).*

El alumno pareció concordar. Hizo señas positivamente con la cabeza. Pero la clase de ese día fue más agitada de lo normal, con conversaciones aisladas, pero más intensas que lo de costumbre. El profesor no perdió la calma, pero en un determinado momento preguntó cuál era el motivo de la risa, pues deseaba participar. No hubo respuestas. Los alumnos comprendieron y guardaron silencio. Había penalidades previstas en el reglamento de la escuela para casos de indisciplina y los alumnos conocían bien las reglas.

El profesor continuó con más ejercicios. El último tuvo inicio cuando la hora regular de clase estaba acabando (12h40min). Sin embargo, el profesor no interrumpió la resolución. Parece que quería compensar el atraso inicial y el tiempo desperdiciado con las conversaciones. La clase se extendió hasta las 12h50min bajo una velada protesta de los alumnos que sólo se retiraron cuando concluyó el ejercicio y después de ser liberados formalmente por el profesor. Nos pareció que cada minuto era rigurosamente tomado en serio en aquella escuela.

Las clases 5 y 6, el día 11 de abril, fueron destinadas a la prueba bimestral, llamada en la escuela de Evaluación de

Estudios (EE). Era la más importante del bimestre y la más compleja también. Era día de semblantes cerrados y aire de preocupación. Transcurrió normalmente.

En la séptima clase, el día 17 de abril, como era costumbre, el profesor aguardó la presentación formal de la clase y después entró. Observamos que cada semana cambiaba el “encargado” de la clase. El profesor informó, de antemano, que no había corregido las pruebas. Los alumnos dieron señales de decepción.

En realidad, después de algunas conversaciones fuera de la clase con grupos de estudiantes, comprendimos que era más que simple curiosidad por saber el desempeño en la prueba: los alumnos estaban preocupados, querían obtener notas por encima de la nota mínima exigida para aprobar. Caso no obtuviesen el rendimiento mínimo, tendrían que realizar estudios de acompañamiento y eso, sumado a los estudios de rutina, generaba sobrecarga. De ahí la ansiedad.

Esa situación recordaba bien el esquema comportamentalista: las clases expositivas, los ejercicios intensivos y las repetidas EPs (evaluaciones parciales) y EEs (evaluaciones de estudio o pruebas) - *el estímulo externo*; buenas notas y buenos comportamientos tenían como resultado una condecoración con entrega de insignias a los alumnos que más se destacaban en aplicación y estudio, o de Legión de Honor a los que tuvieron comportamiento excepcional y nota bimestral igual o superior a 8,0 en todas las asignaturas. Además, también se entregaba el Trofeo Alamar en las categorías bronce, plata y oro para los alumnos que obtuviesen insignias en bimestres consecutivos. Esos eventos, siempre prestigiados por las autoridades escolares, personalidades invitadas y padres - *el refuerzo positivo*; la construcción del hábito de estudio y la preocupación con la obtención de buenas notas - *la respuesta* de los alumnos. De esa forma, la obtención de desempeño igual o inferior a la nota mínima exigida para aprobar (7,0) era considerada una respuesta indeseada por la escuela y por los propios alumnos, y la consecuencia era la indicación para realización de estudios de acompañamiento.

Ese día el profesor empezó rápido e informó que el tiempo para estudiar el contenido era exiguo ya que la semana siguiente habría olimpiadas en la escuela y las clases serían suspensas. Pasó para un asunto nuevo: *Estudio de los Gases*, o *Comportamiento Térmico de los Gases*, conforme el título del libro de texto, que visiblemente el profesor tenía la preocupación de seguir con rigor:

*(...)Ley de Boyle-Mariote: esos físicos estudiaron que  $P_0V_0=PV=constante$ , en la situación en la que la temperatura es constante (...).*

El profesor dibujó en el cuadro el esquema de dos pistones idénticos, pero con distintas posiciones de los émbolos y sobre ellos dibujó pesos diferentes para dar la idea de que las presiones ( $P_0$  y  $P_1$ ) diferían y, por consiguiente, en uno de los pistones el volumen era menor.

*¿Qué cambió y qué permaneció constante en estas dos situaciones?*

Alumno 1: *El segundo se comprimió.*

Profesor: *¿Qué permaneció constante? Fue la temperatura.*

Alumno 2: La presión  $P_0$  es proporcional a  $P$ .

Profesor: La idea está correcta, pero la respuesta que yo quería es que el producto  $P.V$  es lo que permanece constante. ¿Cómo creéis que será el gráfico  $PxV$ ?

Alumno 3: Una recta porque no es cuadrática la ecuación.

El profesor dibujó un conjunto de “isotermas” indicando diferentes temperaturas ( $T_1, T_2, T_3, \dots$ ).

Profesor: Debía ser una recta pero en realidad es una hipérbola. Estas curvas se llaman isotermas porque cada una tiene una temperatura constante:  $T_3 > T_2 > T_1$ .

Alumno 3: Sólo no entendí por qué no es una recta.

Profesor: Porque la ecuación es del tipo  $x.y = \text{constante}$ , por ejemplo,  $x.y = 4$ , de ahí  $y = 4/x$ , o sea,  $x$  puede ser tan grande como queramos que  $y$  no se anula  $y$ , si  $x$  se aproxima a cero, la  $y$  tenderá al infinito. Esto no es una ecuación de recta (...).

El alumno se quedó en silencio. Pareció convencido por la explicación. El profesor prosiguió:

*Ley de Charles-Gay-Lussac: aquí tenemos  $V_0/T_0 = V/T = \text{constante}$ . Esto ocurre a presión constante. ¿Alguien sugiere cómo puedo representar la presión constante en los pistones del dibujo anterior y con temperaturas diferentes?*

Alumno 4: Pon una vela debajo de uno de los recipientes. ¡Eso muestra que uno de ellos está más caliente!

Profesor: Muy bien. ¿Creéis que la idea es buena? ¿Cómo represento presión constante?

No hubo sugerencias. El profesor volvió a dibujar dos pistones que contenían gas y ahora debajo de uno ellos dibujó una vela y debajo del otro, tres velas. Dibujó los émbolos y sobre ellos, un bloque del mismo tamaño en los dos pistones.

Profesor: Como la presión es constante, el peso es el mismo, y como calentamos tenemos que lo que va a variar es el volumen. Es intuitivo ¿verdad? ¿Cómo va a ser el gráfico  $VxT$ ?

Alumno 5: Va a ser una recta paralela al eje  $x$ .

Profesor: (...). Es una recta, sí, pero lo que está equivocado es la inclinación.

El Profesor dibujó un gráfico y una recta creciente que no pasaba por el origen.

*¿Por qué antes la curva era una hipérbola y ahora es una recta? Tomamos nuevamente el ejemplo numérico. Teníamos  $y/x = 4$ . Ahora  $y = 4x$ , que es una ecuación de recta. ¿Esta recta pasa por el origen? La respuesta es sí, pero en nuestro gráfico no pasa. No voy a responder el porqué, dejo que lo vayáis pensando (...).*

Pasó al apartado siguiente.

Profesor: (...) Los gases tienen todos el mismo coeficiente de dilatación volumétrica, que es  $\gamma = 1/273 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . (...) Sabemos que  $\Delta V = V_0 \gamma \Delta T$ , de ahí  $V = V_0 (1 + 1/273 \cdot \Delta T)$ . Puedo hacer esto. ¡Miren qué interesante! ¿Qué pasa para la temperatura igual a  $-273^\circ\text{C}$ ?

Alumno 6: ¡Para todo!!!

Profesor: Veán la expresión para el cero absoluto  $V = V_0 [1 + 1/273 \cdot (-273)]$ . Los científicos de la época también se quedaron intrigados hace más de dos siglos. Los punteados en el gráfico indican que cuando eso ocurre, cuando llegamos cerca del cero absoluto el gas ya no es gas. Se licúa.

Algunos alumnos manifestaron curiosidad, querían saber más. Pero era el fin de la clase. Así eran las clases, prácticamente ininterrumpidas, interesantes del punto de vista del nivel teórico alcanzado en algunos momentos, en un ritmo acelerado, con pocas o breves discusiones, llenas de explicaciones objetivas, concisas de forma que un largo capítulo era visto en apenas un período. El argumento era incuestionable: la falta de tiempo debido a los días festivos de Pascua y a la suspensión de las clases en la semana de las olimpiadas de la escuela. El profesor acabó la clase pidiendo que hiciesen los ejercicios del libro de texto de aquel capítulo.

El tiempo de las clases 8 y 9, el día 18 de abril, fue cedido para prueba bimestral de otra asignatura, siguiendo la programación de la escuela: una prueba por día, todos los días durante una semana. Las clases 10, 11 y 12, los días 24 y 25 de abril, fueron suspensas por motivo de las olimpiadas de la escuela: una semana de actividades internas en las que los alumnos participaban de diferentes modalidades de deportes, juegos, talleres (de teatro, de poesía, de música), de grupos de estudio como los de Astronomía, Química, Física, Matemáticas, Literatura, etc. Se trataba de actividades extracurriculares que la escuela ofrecía fuera de los horarios de clase. Tampoco hubo las clases 13 y 14, los días 01 y 02 de mayo, debido a los días festivos de Pascua.

De esa forma, los alumnos tuvieron una interrupción de dos semanas en las clases de Física. Después del retorno, los alumnos informaron, en conversaciones informales, que tenían el hábito de estudiar en casa el contenido abordado en las clases y que procuraban resolver los innumerables ejercicios del libro de texto. En caso de dudas, podían buscar ayuda en la escuela, en las guardias diarias durante el período de la tarde con otros profesores de Física, o los miércoles, con el propio profesor de la asignatura. Ese sistema era utilizado en todas las asignaturas y tenía el objetivo de incentivar los alumnos a frecuentar la escuela en el turno en que no tenían clases y, como ya se ha dicho, a estudiar diariamente.

Los momentos que antecedieron la décima quinta clase, el día 08 de mayo, fueron atípicos, pues los alumnos estaban dispersos en la clase y en el pasillo enfrente del aula, estaban conversando en grupos. Un escenario que rápidamente se modificó con la llegada del profesor y con las formalidades de presentación de los alumnos para el inicio de la clase. En cuanto empezó la clase, un alumno le

pidió al profesor que hiciese una pequeña revisión del último capítulo: *El Comportamiento Térmico de los Gases*. El profesor enseguida respondió. Visiblemente, tenía gran dominio de los contenidos y retomó el asunto a partir de la ecuación general de los gases ideales ( $PV=nRT$ ) haciendo una breve y concisa revisión.

Profesor: (...) Si la temperatura es constante, tenemos que  $P_0V_0=PV$ ; si la presión es constante, tenemos que  $V_0/T_0 = V/T$  (...).

Alumno 1: ¿Cuál es la diferencia entre hipérbola y parábola?

El profesor volvió a explicar las diferencias en términos de ecuaciones matemáticas y esquematizando sus gráficos. Prácticamente repitió la explicación de la clase anterior. No se detuvo en discusiones prolongadas y pasó para el capítulo siguiente:

*Capítulo 26: Leyes de la Termodinámica. Las leyes de la Termodinámica tienen que ver básicamente con el aprovechamiento de la energía. Antiguamente todas las máquinas eran manuales (...). Después vino la máquina a vapor: el vapor de agua era canalizado a altas presiones y hacía girar palas, engranajes y mover máquinas. (...) la energía viene de la combustión. La gran ventaja fue que ese tipo de utilización de energía térmica podía ser transportado, o sea, las máquinas pasaron a ser auto locomotoras como trenes, barcos a vapor, (...). Combustión es la quema de compuestos. (...). En las primeras máquinas térmicas, la combustión era siempre externa, pero hoy, la combustión es interna como en la cámara de combustión de los automóviles.*

En general, el profesor hacía una breve introducción histórica en el inicio de cada nuevo asunto, pero no democratizaba la discusión. Era del tipo noticioso y con frecuencia indicaba para los alumnos la lectura del libro de texto. Dibujó en el cuadro un esquema de máquina térmica de combustión interna, indicando las principales partes y explicando brevemente su función:

*Ahora vais a leer el capítulo 26 y en la introducción encontraréis estas explicaciones. (...) Primera Ley de la Termodinámica (escribió el título en la pizarra), pero antes tenemos que introducir algunos conceptos. (...) paredes diatérmicas: permiten el cambio de calor entre las distintas partes del sistema; paredes adiabáticas: viene del griego y significa "impenetrable", o sea, no permiten cambios (...). ¿Qué creéis que es la energía interna, viendo la expresión  $E_i=3/2nRT$ ?*

Alumno 2: Es la energía del lado de dentro...

Profesor: (...) si tenemos una caja o sistema cerrado, el número de moléculas es constante, "n" y R no cambian, por lo tanto, energía interna depende sólo de la "temperatura".

La exposición se atuvo a la expresión matemática de la energía interna y no la relacionó con el estado de agitación de las moléculas del sistema, o sea, dejó implícito su

significado físico. Pasó para la *Primera Ley de la Termodinámica* y escribió en la pizarra la expresión  $\Delta U=Q-\tau$ .

Profesor: *Variación de la energía interna (...) la expresión  $\Delta U=Q-\tau$  es la misma cuando escribimos  $Q=\Delta E_i+\tau$ , o sea, es la misma fórmula, solo que escrita de forma diferente. Suelo decir en la escuela de Ingeniería que podéis olvidarlo todo en la Física, menos las tres Leyes de Newton y las Leyes de la Termodinámica. (...)*

Alumno 3: *Energía es dada en Joule; calor es trabajo; ¡trabajo es energía, por lo tanto todo es en Joule!*

Profesor: *Es eso mismo.*

Pensamos que las palabras del Alumno 3 podrían haber provocado una discusión sobre cómo los principales conceptos de determinado ramo de la Física se relacionan, evolucionan y adquieren nuevos y diferentes significados con el avance del conocimiento. Pero esos aspectos no eran contemplados por las estrategias didácticas del profesor. Y el ritmo de la clase se mantuvo. El profesor dibujó dos pistones del mismo tamaño, con los émbolos colocados en diferentes alturas, uno de ellos tenía en la base tres velas y en su interior dibujó flechas (vectores) largas; el otro, una vela y flechas cortas. Hubo algunos diálogos, intentos de interpretación, bromas, risas. El profesor intervino:

Profesor: *La energía interna es representada por la mayor velocidad de las moléculas: flechas más largas. El calor es representado por el número de velas y el trabajo por la diferencia de altura del émbolo (...).*

Estaba implícito en los dibujos y en la secuencia de las palabras del profesor que asociaba la variación de la energía interna del sistema al aumento de temperatura y por consiguiente al aumento de agitación o velocidad de las moléculas. Pero no se detenía en explicaciones detalladas sobre aspectos conceptuales. Era perceptible que basaba sus explicaciones preferentemente en las fórmulas y gráficos y economizaba interpretaciones teórico-conceptuales; cuestiones asociadas a la naturaleza de la ciencia no eran explotadas. En general, cuando aumentaba la curiosidad de los alumnos, acababan abortadas por respuestas objetivas seguidas de la introducción de nuevos asuntos.

Era el "lenguaje de profesor" que predominaba en las clases. Es verdad que él permitía intervenciones, sugerencias, preguntas, respuestas. Pero respondía de forma tradicional, privilegiando la transmisión en lugar de la intermediación del conocimiento. Esa tendencia era facilitada por la actitud respetuosa de los alumnos. No era, de ninguna forma, el ejercicio del autoritarismo, menos aún de cualquier método coercitivo del tipo "vigilar y castigar" como dice Michel Foucault (2007). Diríamos que las clases seguían un estilo, un rigor, una secuencia y un equilibrio que eran propios de aquella escuela militar.

Las clases 16 y 17, el día 09 de mayo, tuvieron lugar en una fría mañana de otoño. En aquel horario (el inicio de las clases era a las 7h30min), el frío parecía más intenso y, como de costumbre, sólo empezaron después de las

formalidades de presentación de la clase al profesor. Ese día, el profesor solicitó que no hubiese atrasos. Pidió que vieran el libro de texto y siguió con el contenido en el mismo orden de los capítulos.

Observamos que la mayoría de los alumnos mantenía sus libros abiertos sobre la mesa acompañando las palabras del profesor a través del libro. Y el hábito era tal que, si el profesor se desviase del asunto, los propios alumnos alertaban: *¡profesor, eso no está en el libro!* Ni una coma fuera del lugar. Ése parecía ser el estilo. No era de extrañar, pues, al fin y al cabo, todo en aquella escuela parecía tener una lógica, una regla, un esquema.

El profesor empezó la clase preguntando cuál era la fórmula del trabajo mecánico. Un alumno respondió: *trabajo es  $\tau = F \cdot d \cdot \cos \theta$* . Era perceptible que, cuando el profesor solicitaba que recordasen conceptos o expresiones ya estudiadas, siempre había un u otro alumno que respondía de pronto y acertadamente. El profesor hizo una analogía entre el trabajo mecánico y el trabajo en la Termodinámica, alertando que el principio es el mismo, es decir, una fuerza hace el pistón subir y éste puede realizar trabajo:

*(...) ¿la diferencia es que en la Termodinámica la fuerza está distribuida en todos los puntos de las paredes internas y es ejercida por las moléculas de gas, de forma que el trabajo puede ser dado por la expresión  $\tau = P \cdot \Delta V$ . (...) ¿Cómo será el gráfico  $PxV$ ? (El profesor dibujó en la pizarra un gráfico  $PxV$ ).*

*Cuando examinamos un gráfico tenemos que prestar mucha atención en las magnitudes físicas indicadas en los ejes. Tenemos que identificar las magnitudes para saber qué es lo que está mostrando el gráfico. En nuestro caso, el área debajo de la curva representa el trabajo realizado por el sistema ( $Px\Delta V$ ) (...).*

Alumno 2: *¿Cómo se calcula el área en el caso de que la curva no sea una recta?*

Profesor: *Bien, uno siempre va a usar un área "bonita", que uno conoce y sabe calcular, o tendríamos que calcular una integral. (...) En este caso, se puede calcular el área del rectángulo ( $b \cdot h$ ) y después del triángulo [ $(b \cdot h) / 2$ ] y por fin sumar (...).*

En general, los alumnos conseguían acompañar las explicaciones. Era posible percibir que tenían buen dominio del instrumental matemático, interpretaban los gráficos, retenían conceptos y expresiones ya estudiados y tenían, en su mayoría, un buen nivel de comprensión. Había también alumnos que presentaban un grado mayor de dificultad. Éstos tenían que compensar estudiando más, como ya se ha dicho, pero los alumnos tenían un nivel equilibrado. Se podía percibir también que, si fuese necesario que el profesor, por solicitud de algún alumno, se detuviese en explicaciones más prolongadas, los demás alumnos acababan perdiendo el interés y pasaban a discutir algún ejercicio o asuntos de otras asignaturas.

El profesor pasó para las transformaciones termodinámicas. Dibujó un gráfico con las magnitudes físicas y centró las

explicaciones en el comportamiento mostrado en el gráfico. Al final del primer período, se retiró de la clase y fue a buscar las evaluaciones. Los alumnos aprovechaban para levantarse, caminar por la clase y discutir en pequeños grupos dudas y resultados de ejercicios resueltos en casa, preocupados con la Evaluación Parcial (EP) de aquel día. Conversamos con algunos grupos. La clase tenía 18 niños y 10 niñas. Cuatro niñas dijeron que durante las dos semanas de interrupción habían hecho la mayoría de los ejercicios del libro de texto y algunas veces habían solicitado la ayuda de los profesores de Física por la tarde, en la guardia.

Como ya se ha dicho, el estímulo al estudio era una característica importante de aquella escuela: incentivar los alumnos a frecuentar la escuela también por la tarde, aclarar dudas y construir el hábito de estudio diario. También participaban en diversas actividades: banda (de la escuela), canto, teatro y grupos de estudio como los de Matemáticas y Astronomía (los grupos de alumnos de la escuela militar participaron en los últimos años de la Olimpiada Internacional de Astronomía, de la Jornada Espacial, etc.).

Nuestras observaciones y conversaciones informales con los alumnos, así como sus participaciones en las clases hacían creer que, en general, los estudiantes de aquella clase tenían el hábito de estudiar diariamente y parecían permanentemente preparados para las EPs y, aunque fuesen evaluaciones parciales, las tomaban en serio y no admitían obtener malas notas.

En la segunda hora, hicimos el recibimiento formal de los alumnos a pedido del militar encargado de la disciplina debido a un pequeño atraso del profesor. Cuando él volvió, los alumnos ya se organizaban, separando las mesas, preparados para la EP. La disciplina era notable. Por otro lado, como ya se comentó, los momentos que antecedían las EPs eran marcados por enorme preocupación en memorizar las fórmulas de los capítulos que entraban en la evaluación. Los alumnos las repetían en voz alta, frecuentemente, como para reforzar la memorización.

Eran 10 preguntas todas retiradas de exámenes de selectividad a la universidad: dos preguntas de teoría y ocho ejercicios de cálculos. El grado de dificultad era compatible con el nivel de las clases, las preguntas eran amplias y prácticamente abordaban todo el contenido sobre el comportamiento de los gases. Dos alumnos hicieron la EP en poco más de 10 minutos y pudieron salir de la clase, permaneciendo sentados al lado de la puerta en absoluto silencio para no estorbarles a los compañeros.

La clase 18, el día 15 de mayo, empezó con 5 minutos de atraso. Cuando el profesor llegó, los alumnos estaban todos en el aula, la mayoría en sus mesas. La formalidad de presentación fue rápida y profesor continuó con Transformaciones Termodinámicas:

*(...) la tercera transformación es la Isotérmica: tiene lugar bajo la misma temperatura o temperatura constante. El gráfico  $TxV$  es una recta constante porque la temperatura no cambia, pero en el gráfico  $PxV$  tenemos isotermas (...). La adiabática es la transformación que no intercambia calor con el*

medio. (...) el trabajo es realizado a costa de la energía interna, o sea,  $\Delta U=Q-\tau$ , pero como  $Q=0$ , entonces  $\Delta U=-\tau$ .

El profesor no hizo referencia explícita al significado de la señal negativa de la expresión, pero nos pareció que al afirmar “a costa de la energía interna”, entendía que los alumnos tenían condiciones de construir un modelo mental adecuado. Pero nosotros tenemos dudas sobre la validez de esa premisa.

Concluidas las explicaciones y después de un breve intervalo con algunas bromas, risas, conversaciones con los alumnos, el profesor retomó la clase y pasó para los ejercicios del libro de texto. Los ejercicios 1 y 2 de aquel capítulo eran conceptuales y el profesor sólo comentó la respuesta. Volvió a destacar que el trabajo en la Termodinámica resulta de una fuerza que está distribuida en toda la superficie del émbolo; que la presión se transmite en todas las direcciones en el interior del sistema y escribió:  $\tau=P.\Delta V=F/A.(A.\Delta h)=F.\Delta h$ , que es el trabajo mecánico.

*Voy a resolver los ejercicios, pero sólo los que considero más difíciles. Os dejo el resto ... para que podáis reclamar en el consejo de clase...*

El profesor, según parecía, hacía alusión a las reclamaciones de los alumnos en los consejos de clase cuando consideraban que algún asunto era exigido, pero no había sido adecuadamente estudiado en las clases. Él lo hizo en tono de broma, pero tenía su significado, según parece. A pedido del profesor, una alumna leyó el ejercicio (4) en voz alta y el profesor anotó los datos en la pizarra, 4)  $\Delta U=1200J$ ;  $Q=?$ ;  $\tau=-2000$ , y siguió:

*En este caso el trabajo es realizado sobre el sistema, por eso tiene señal negativo. Vean en el libro cuál es la convención:  $\tau>0$  es trabajo ejercido por el sistema;  $\tau<0$  es trabajo sobre el sistema;  $Q>0$  es calor absorbido por el sistema;  $Q<0$  es calor cedido por el sistema. Tenéis que memorizarlo. Es una convención. ¿Podría ser diferente? Sí podría, pues es una convención (...). Entonces tenemos  $\Delta U=Q-\tau$ ;  $1200J=Q-(-2000J)$ ;  $Q=1200J-2000J=-800J$ . Esto significa que calor fue cedido por el sistema.*

En esa oportunidad, el profesor volvió a destacar la cuestión de las convenciones en la ciencia. Habían sido dos momentos, hasta entonces, en que el profesor habló sobre un aspecto de la naturaleza de la ciencia, pero lo hizo de forma noticiosa, no fomentó la discusión ni la reflexión sobre las visiones de los alumnos. Después de hacer los cálculos y algunos comentarios sobre el resultado, pasó para el ejercicio siguiente, cuyos datos eran suministrados por un gráfico. Lo resolvió. Vinieron más y más ejercicios. En algunos, el profesor no se detuvo, sólo dio instrucciones de cómo resolverlos:

*(...) en este problema 1,40 mols absorben calor y la temperatura pasa de 300K para 500K; la presión es constante y se pide cuál es la variación de la energía interna. Vean que quiere  $\Delta U$ , que también es dada por la expresión  $3/2nRT$ . Esto no es dado en este capítulo del*

*libro, la expresión surge en un ejercicio. Es sólo usar esta fórmula.  $\Delta U=3/2(1,40).(8,31).(500-300)$ ;  $\Delta U=3/2(1,40).(8,31).(200)=3490J$ . ¿Por qué Joule? Porque estamos trabajando en el Sistema Internacional (...).*

Se percibía que el profesor presuponía un elevado nivel de autonomía de los alumnos. En varios momentos indicaba el camino. Algunos alumnos eran rápidos y con auxilio de la calculadora, obtenían la respuesta para compararla con la del profesor. En general acertaban. El alumno que estaba a nuestro lado se mostraba distraído aquel día. Eso era poco común.

Observadora: *¿por qué no has acompañado hoy la clase?*

Alumno 1: *Estoy cansado. Pero tengo que recuperar en casa.*

El ritmo de las clases era veloz, la escuela primaba por el rigor en el cumplimiento del contenido. Tenía que ser cumplido integralmente. No era así sólo con la Física. Todas las asignaturas seguían un modelo similar, según los alumnos. La explicación del Alumno 1 parecía plausible, pues era mediados de mayo y el cansancio se hacía sentir. El nivel atípico de ruido en la clase también parecía un síntoma de esa circunstancia. Pero el profesor no se dejaba contagiar y continuaba resolviendo los ejercicios. A veces una figura solitaria, dibujando, anotando los datos, desarrollando los cálculos en la pizarra.

Un observador que no tuviese intimidad con esa cultura podría cuestionar qué relación había entre tantas resoluciones de ejercicios y el aprendizaje de la Física. ¿Estaríamos ante un entrenamiento típicamente skinneriano? La respuesta podría ser “sí” si nos detuviésemos en verificar que los alumnos eran, de hecho, entrenados para resolver una gama inmensa de diferentes problemas a lo largo de los capítulos, teniendo que interpretar distintos enunciados y hacer uso de forma aislada o relacionada de las expresiones matemáticas (fórmulas) inherentes a los contenidos en estudio; podría ser “no” si considerásemos que la resolución de problemas no tiene el único fin de alcanzar destreza, pero como bien advierte Kuhn (2003, p. 235) *resolver problemas es aprender cosas relevantes sobre la naturaleza*. Kuhn, sin embargo, se refería a los problemas ejemplares por los que tienen que pasar los físicos cuando se disponen a ingresar en la carrera científica. Pero no deja de ser parecido para quien estudia Física en la escolarización.

Posiblemente, una combinación de clases teóricas planificadas para permitir cierta apertura a la discusión de principios, conceptos y teorías y alguna reflexión sobre la naturaleza de la ciencia, todo eso asociado a la resolución de ejercicios, demostraciones en laboratorio o a través de modelado computacional, podría producir una enseñanza de Física, que de hecho se mostrase de calidad en aquella escuela, pero también podría contemplar la formación de ciudadanos más críticos y reflexivos.

El profesor, sin embargo, no incitaba discusiones amplias y, según parecía, se sentía limitado por el tiempo. Aun así, cada ejercicio era leído, interpretado, resuelto y siempre se convertía en un proceso en el que acababan surgiendo comentarios adicionales o complementarios, del profesor o

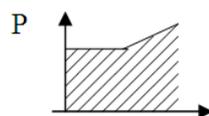
de los alumnos. Como afirman Latour y Woolgar (1997, p. 185), *las ideas y los procesos de pensamiento individuales resultan de una forma particular de presentación y de simplificación de toda una serie de condiciones sociales materiales y colectivas*. No dejaba de ser una construcción colectiva. Sería difícil afirmar que el aprendizaje de la Física en aquella escuela era únicamente mecánico, aunque en algunos momentos fuese posible ver que los alumnos memorizaban las fórmulas y también algunos de los problemas principales de los contenidos previstos en las evaluaciones.

De cualquier forma, era una enseñanza planificada en términos de contenidos, disciplinado, pautado en el respeto, en la responsabilidad y en el compromiso. Los jóvenes aprendían a respetar límites, a asumir responsabilidades sin que eso les quitase la iniciativa y la creatividad. A fin de cuentas, ¿qué hay de equivocado en la disciplina, tan apreciada en cualquier empresa, incluso en la actualidad? Por otro lado, no deseamos que nos entiendan mal, pues no estamos aquí defendiendo las virtudes de la una enseñanza tradicional o de una “educación bancaria” como diría Paulo Freire. Incluso porque no se pueden ignorar los valiosos hallazgos de la investigación y la vasta literatura producida en las últimas décadas sobre enseñanza y aprendizaje, que alertan para la importancia que asumen, en ese proceso, el conocimiento previo, la predisposición para aprender, el material didáctico potencialmente significativo, la evaluación, la diversidad de prácticas didácticas, el modelado computacional, etc.. Sin duda un desafío para la reflexión.

En el comienzo de las clases 19 y 20, el día 16 de mayo, a petición del coordinador disciplinar de la escuela, nuevamente recibimos a los alumnos en lugar del profesor, que tuvo un pequeño atraso. El profesor llegó enseguida e inició inmediatamente la clase. Confirmó que habría una EP aquel día, como era esperado por los alumnos. El tiempo estaba reducido, una vez más, debido a la proximidad de un nuevo día festivo, cuando la escuela haría un puente (el jueves y viernes sin clases porque el día festivo caía en un jueves), justamente los días de las clases de Física.

El profesor hizo una rápida revisión de los principios y fórmulas de las *transformaciones térmicas*. Aparecieron dudas. Los alumnos se mostraban preocupados debido al corto espacio de tiempo entre una EP y otra. El profesor dio explicaciones, aclaró que la expresión  $\Delta U = 3/2nRT$  es usada para calcular la energía interna cuando la temperatura (T) es fija. Continuó la revisión durante 20 min: la 1ª Ley de la Termodinámica ( $\Delta U = Q - \tau$ ); las transformaciones térmicas; la ley general de los gases ideales ( $PV = nRT$ ); el trabajo de máquinas térmicas; los intercambios en sistemas térmicos, etc.

Alumno 1: *No entendí cómo se calcula el trabajo a través del gráfico  $PxV$* . El profesor dibujó un gráfico  $PxV$  marcando el área bajo una curva:



Para calcular el trabajo simplemente calculamos el área debajo de la curva (...) y para calcular la temperatura en A y en B, usamos la expresión  $PV = nRT$  (...).

Para la introducción de la *Segunda Ley de la Termodinámica* el profesor usó el ejemplo de la combustión (quemar) ejemplificando un fenómeno irreversible; de un muelle elástico, siendo estirado y retornando a su posición de equilibrio, para ilustrar un fenómeno reversible.

Profesor: *El primer ejemplo implica un cambio en la naturaleza de los componentes, y representa un fenómeno irreversible, mientras que el fenómeno físico de distensión del muelle es un fenómeno reversible, no muda la naturaleza de los componentes. (...) La Segunda Ley de la Termodinámica dice que “ninguna máquina térmica operando en un ciclo completo transforma completamente calor en trabajo”, quiere decir que siempre tendremos alguna pérdida (...) en vehículos de combustión interna sólo alrededor del 25% a 30% de la energía es efectivamente utilizada para mover el vehículo. Estamos en una crisis energética (...) nos tenemos que concienciar sobre la importancia de economizar energía (...)*

Alumno 2: *¿por qué no producimos motores eléctricos?*

Profesor: *Existen varios. Pero el problema es desarrollar baterías más leves y de mayor durabilidad (...). es necesario que nos concienciamos, economizar y recordar que aún tenemos mucha energía producida por termoeléctricas, que queman carbón. (...)*

Alumno 3: *La Segunda Ley de la Termodinámica contradice la Primera Ley, ¿no es verdad, profesor?*

Profesor: *No. La 1ª Ley dice que la variación de la energía interna de un sistema es igual al calor suministrado o retirado menos el trabajo realizado (...); la 2ª Ley dice que no todo el calor que se le suministra a un sistema puede ser transformado en trabajo, hay pérdidas (...)*

Se podía percibir, con claridad, en su discurso que el profesor tenía una profunda preocupación ambientalista. Hicimos una larga transcripción de lo que se dijo de esa clase para intentar mostrar esa inquietud del profesor. Cuando el asunto tenía relación con esas cuestiones, democratizaba las discusiones, apelaba a la concienciación de los alumnos. Pero él era hábil. Al mismo tiempo que abría la discusión para lo que deseaba explotar, mantenía el control de manera que no se perdiese el objetivo de la clase. Así, la primera hora de la clase fue marcadamente expositiva. Por fin, pasó para *máquinas térmicas de ciclo cerrado*. Explicó el funcionamiento del frigorífico, del aire acondicionado. Hizo un intervalo entre las dos horas y fue a buscar las EPs. Mientras tanto, algunos alumnos nos solicitaron nuestra ayuda para aclarar dudas. Esta vez parecían preocupados con la evaluación. A fin de cuentas, todo el cuerpo conceptual y las formulaciones matemáticas asociadas a las transformaciones termodinámicas habían

sido vistas en tan sólo dos clases. Ese día estábamos en una mesa que estaba en el lado opuesto del aula, de forma que pudimos dialogar con alumnos con que nos habíamos relacionado poco hasta entonces. A nuestro lado, un alumno nos habló con entusiasmo de su pasión por la Física.

Alumno 4: Me gusta mucho la Física (...). No voy a estudiar Física porque no quiero ser profesor. Pero quiero estudiar Ingeniería porque tiene mucha Física y mucha Matemática (...).

Por lo que parece, convivían extremos en aquella cultura escolar: había los que decían que les gustaba mucho la Física, tenían destreza y rapidez de raciocinio; y los que decían que la Física es muy difícil y iban aprobando la asignatura a costa de mucho esfuerzo y estudio redoblado, según afirmaban. La hora siguiente fue dedicada a la EP. La evaluación tenía nueve preguntas bastante amplias, cada una con varios ítems y abarcaba casi todos los principios y fórmulas estudiadas y revisadas en las últimas clases.

La clase 21, el día 29 de mayo, tuvo lugar en un día lluvioso y estuvo marcada por un ruido no habitual. El profesor tuvo que intervenir, pero él no perdía la calma y su forma de llamar la atención era siempre a través de bromas. Un estilo que los alumnos conocían bien, como también su significado. Como ya dijimos, era el “lenguaje del profesor” lo que predominaba en aquellas clases. La clase fue una continuación del asunto sobre máquinas térmicas.

Profesor: (...) debe haber una fuente caliente con entrada de calor ( $Q_1$ ), una fuente fría con salida de calor ( $Q_2$ ) y una salida representando el trabajo realizado.

Alumno 1: ¿Es imposible transformar totalmente energía en trabajo o no vale la pena?

Profesor: No. No es posible, pues todo intercambio de calor implica pérdidas para el medio (...).

El alumno se quedó pensativo por unos instantes. Después cambió su expresión y parece que concordó.

Profesor: (...) El rendimiento de las máquinas térmicas es dado por  $\eta = P_{\text{útil}}/P_{\text{motora}} = \tau_{\text{útil}}/\tau_{\text{motora}}$  donde  $P$  es potencia. ¿Qué es potencia? ¿Alguien lo recuerda?

Alumno 2: Es algo en el tiempo... ¡creo que es trabajo en el tiempo!

Profesor: Es eso mismo, algo en el tiempo como dijo el colega, trabajo en el tiempo.

Alumno 3: ¿Cuál es este capítulo?

Era común y parecía una necesidad de los alumnos la de acompañar las explicaciones del profesor por el libro de texto. El profesor dijo que era el capítulo 27, pero que no está en el libro exactamente de esta forma (...). Tenía la preocupación, como ya se ha referido, de seguir rigurosamente el libro y tenía el cuidado de avisar cuando las expresiones que él utilizaba en la pizarra o en sus explicaciones no eran exactamente iguales a las del libro.

*El ciclo de Carnot es la máquina térmica de rendimiento máximo. Un ejemplo es el motor cuatro tiempos. Cuatro, porque él: admite, comprime, estalla y expulsa. (...) el rendimiento*

*de la máquina de Carnot es dado por  $\tau = 1 - T_2/T_1$  o  $r = 1 - Q_2/Q_1$ .  $T_2$  es la fuente fría y  $T_1$  es la fuente caliente. El rendimiento siempre será dado con relación al trabajo realizado. (...). ¿Qué debía ocurrir para que tengamos 100% de rendimiento?*

Alumno 4: Tendríamos que llegar al cero absoluto... El Alumno 4 era uno de los más participativos, demostraba buen nivel de conocimiento, rapidez de raciocinio e interés. Pero como él mismo dijo “para ir bien en Física no basta estar atento en las clases, es necesario comprender y hay que estudiar en casa”.

Profesor: (...) Bien, tenemos en el libro una serie de cuestiones polémicas: ¿péndulo simple oscilando es un fenómeno reversible o irreversible?

Alumno 5: Es reversible.

Alumno 6: Irreversible...

Profesor: Quien respondió que es reversible acertó y quien respondió que es irreversible también acertó. Si un péndulo está en el vacío va a tender a parar porque el roce de la cuerda es una forma de roce (...) el péndulo tiende a parar.

Alumno 9: ¿No hay algo que dice que en el vacío todo continúa en movimiento?

Profesor: Sí, (...) a menos que haya algún roce (...). Vamos a los ejercicios (...).

Era palpable que siempre que las discusiones ganaban cuerpo, el profesor abortaba el diálogo y daba continuidad al programa de clase. Tenía delante de sí una situación delicada, pues el contenido era extenso y tres horas de Física por semana eran insuficientes para cumplirlo si él permitiese discusiones prolongadas, si todas las curiosidades fuesen respondidas, si hubiese interrupciones frecuentes. Era necesario frenar de un lado y acelerar de otro.

Ese era un aspecto que no concernía al profesor, o a la propia escuela, sino al modelo de la Enseñanza Secundaria que hoy está vigente en Brasil, dedicado a preparar los alumnos para la selectividad o para otros exámenes de entrada en la enseñanza superior. Siempre que ese dilema se hacía presente, era inevitable reflexionar sobre la importancia de repensar el vínculo que la escuela tiene con el empleo, con el mercado de trabajo, con las habilidades y competencias que deseamos desarrollar en los jóvenes y sobre el tipo de individuo que queremos formar. Si deseamos formar ciudadanos competentes, críticos y capaces de aprender a aprender, tenemos que repensar la formación docente, revisar los contenidos de enseñanza, la función de la escuela, las pedagogías actualmente practicadas y especialmente la cuestión de la preparación para la entrada en la enseñanza superior. Todo eso es importante.

El profesor leyó, escribió en la pizarra los datos del ejercicio (13) de aquel capítulo y lo resolvió. Pasó para más ejercicios. La clase estaba llegando ya a los minutos finales y poco a poco fue surgiendo un murmullo de los alumnos. Pero el profesor no se dejó estremecer. Dibujó el gráfico del ejercicio (17) y avisó que terminaría los cálculos antes de encerrar la clase. Pidió que los alumnos no saliesen. Con eso la clase, una vez más, se extendió más allá de la hora

habitual. Los alumnos permanecieron en clase hasta que fueron formalmente liberados.

Las clases 22 y 23, el día 30 de mayo, transcurrieron en el laboratorio de Física. Fue una introducción a la Óptica Geométrica. Una especie de *pseudo organizador previo* (Ausubel *apud* Moreira, 1999), en que el profesor y los monitores del laboratorio realizaron innumerables demostraciones y pequeños experimentos, donde los alumnos pudieron observar y/o manipular objetos como: la cámara oscura, espejos, lentes, prismas, etc. El profesor dio breves explicaciones sobre los principios de la Óptica Geométrica, mostró diferentes imágenes formadas por espejos de varios tipos: planos, esféricos y lentes. Los alumnos pudieron visualizar imágenes directas, invertidas, virtuales, reales; intuir sobre la independencia de los rayos; visualizar la propagación rectilínea de la luz con el auxilio de láser delante del cual se colocó un obstáculo con minúsculos agujeros y un biombo. Además de la Óptica Geométrica se hizo también una pequeña introducción sobre el comportamiento dual de la luz y otros aspectos de la Óptica Física.

Fueron dos clases motivacionales. Explicaciones breves y bien planificadas tuvieron, según se pudo observar, el objetivo de favorecer después la *diferenciación progresiva* (*ibid*) de los conceptos. Los alumnos tuvieron oportunidad de interactuar, observar, manosear, verificar, por ejemplo, la descomposición de la luz blanca con el uso de prismas, o la combinación de los colores para formar la luz blanca, a través del disco de Newton. Pudieron preguntar y obtener explicaciones sobre diversos fenómenos ópticos. Los alumnos reaccionaron positivamente a la propuesta. Sin excepción, dijeron que les había gustado mucho la clase experimental, más interactiva y participativa. Incluso los que normalmente se mostraban más inhibidos, ese día estaban más entusiasmados.

Alumno 1: *Fue una clase muy interesante.*

Alumno 2: *Me ha gustado mucho.*

Alumno 3: *Fue muy interesante y yo aprendí bastante.*

Alumno 4: *Hemos visto una variedad de fenómenos, no entendí bien la formación de las imágenes en las lentes...*

Alumno 5: *¿Tendremos más clases así de ese tipo?*

Una importante contribución de aquel tipo de clase fue el entusiasmo por el asunto en pauta que consiguió provocar. Durante varias clases subsiguientes en que se presentaron explicaciones y se resolvieron ejercicios, los alumnos siguieron comentando y recordando fenómenos observados, conceptos captados, situaciones presenciadas, haciendo suponer que la integración de las clases teóricas y las experimentales es una propuesta útil para estudiar Física.

La vigésima cuarta clase, el día 05 de junio, empezó, nuevamente con un pequeño atraso del profesor y, otra vez, recibimos formalmente a los alumnos, a petición del orientador disciplinar. El militar fue objetivo: *empiece la clase, mantenga el control de los alumnos y si hay cualquier problema de disciplina anote los nombres.* No fue necesario. El profesor llegó enseguida y empezó la clase:

*(...) La luz tiene comportamiento dualístico, son los fotones que coliden en el espejo... otros fenómenos se explican por el comportamiento ondulatorio, son ondas que se propagan ...*

Como se ve, el profesor hizo una breve introducción sobre el comportamiento dual de la luz. Habló también de la luz como onda electromagnética: gesticulando con las manos intentó dar una idea de que los campos eléctrico y magnético se propagan oscilando perpendicularmente. Después, avanzó para el ítem 2: *Luz y Radiación*, dibujó un esquema del espectro electromagnético y localizó algunas frecuencias más conocidas, entre  $10^6$  a  $10^{22}$  Hz. Los alumnos manifestaron curiosidad sobre las ondas de radio, de TV, interferencia, micro-ondas, etc.

Alumno 1: *¿Por qué hay interferencia en la transmisión de radios diferentes?*

Profesor: *Cuando dos emisiones de radio tienen frecuencias muy próximas, se pueden sobreponer (...). Frecuencias en el orden de  $10^6$  Hz son de radio; en  $10^{10}$  Hz tenemos las micro-ondas;  $10^{14}$  Hz es la frecuencia de lo visible;  $10^{16}$  Hz es el ultravioleta;  $10^{18}$  Hz (...).*

A cada explicación, nuevas curiosidades y más preguntas: las diferentes frecuencias que hombres y animales pueden ver, enfermedades causadas por equipos de radar, defectos en el ojo humano, cómo actúan las ondas en los alimentos en el horno de micro-ondas y otras más, pero el profesor continuó:

*Tenemos que avanzar porque nuestro objetivo es estudiar la Óptica Geométrica (...); Ítem (3) Fuentes de Luz (...); ítem (4) Principios de la Óptica Geométrica: 1º) la propagación de la luz es rectilínea, vieron esto con el láser en el laboratorio; 2º) es el principio de la reversibilidad, o sea, si el rayo va en una dirección y sentido, puede volver en sentido contrario; 3º) es el principio de la independencia de los rayos luminosos, vieron eso en la cámara oscura (...).*

Los alumnos, posiblemente aún movidos por curiosidades despertadas por la clase en el laboratorio, hacían muchas preguntas. El profesor procuraba responder sucintamente. No fomentaba las discusiones. Era conciso y avanzaba para el ítem siguiente. Al final, el profesor solicitó que hiciesen los ejercicios del capítulo 18 del libro de texto.

El día 06 de junio, clases 25 y 26 empezaron puntualmente a las 7h30min de la mañana después de las formalidades habituales. La sala amplia y los alumnos sentados en filas de mesas muy separadas daba la impresión de que el frío de invierno era aún más intenso en aquella mañana helada. El profesor continuó con el capítulo 18 y dibujó dos figuras idénticas a las del libro de texto (p. 228): una mostraba que el desplazamiento del espejo de una distancia "a" a partir de un objeto fijo provoca un desplazamiento de "2a" de la imagen; y otra, ilustraba el mismo efecto para un desplazamiento angular. Un alumno preguntó se tendrían nuevamente clases en el laboratorio. Los alumnos dijeron

que les había gustado aquella clase, pues fue más entretenida, menos formal. No hubo comentarios a ese respecto por parte del profesor, él siguió:

*(...). Hagan en el cuaderno una escala para percibir ese fenómeno. (...) Mientras el espejo se desplaza de dos unidades "2a", la imagen se desplaza de cuatro 4 unidades "4a" para un objeto que permanece fijo...*

Anduvo por la sala incentivando los alumnos a dibujar una escala y las dos situaciones (antes y después del desplazamiento del espejo). Parecía que quería hacer entender que tal visualización era importante. Los alumnos parecían no compartir la misma opinión. Mientras algunos se dedicaban, dibujando y contando cuidadosamente las unidades de la escala, otros, aparentemente, ya habían visualizado mentalmente y consideraban la tarea innecesaria. Pero el profesor insistió. Pasó de mesa en mesa y las dibujó él mismo, para los que todavía no lo habían hecho o no habían concluido, discutió, mostró puntualmente, y así lo hizo con todos los alumnos. Pasó enseguida para las cuestiones teóricas del libro.

Profesor: *¿Si yo distingo a alguien en el espejo, este alguien también me va a ver?*

Alumno 1: *Sí porque el ángulo reflejo es igual al ángulo de incidencia.*

Profesor: *Eso es, ¿y por qué más?*

Alumno 2: *Porque el rayo anda en línea recta...*

A cada respuesta correcta tenía lugar una vibración del profesor y de los alumnos.

Profesor: *La pregunta 2 dice que cuando oímos una orquesta escuchamos el sonido de los diferentes instrumentos. ¿Cuál es el principio análogo a la Óptica Geométrica que explica eso?*

Alumno 5: *La independencia de la propagación de los rayos.*

Profesor: *Exactamente. Ejercicio 5: teóricamente, en el espejo plano, el tamaño de la imagen es igual al del objeto, pero cuando nos alejamos del espejo, la imagen parece disminuir. ¿Qué explica eso? Es el campo visual. (...).*

Mientras explicaba, el profesor tenía el hábito de gesticular y moverse por la clase. No había dudas, tenía gran experiencia de clases, excelente dominio de los contenidos de la Física y, al mismo tiempo, su formación en Ingeniería le daba una enorme capacidad de responder con precisión y de forma concisa a las preguntas de los alumnos, sin extenderse en explicaciones conceptuales prolongadas y sin desencadenar polémicas. Esas características del profesor hacían las clases bastante objetivas y permitían que él avanzase en el contenido dentro de lo previsto, aunque, muchas veces, cuestiones conceptuales importantes podrían, en nuestra opinión, ser más explotadas y podían llevar a una mayor comprensión conceptual de parte de los alumnos.

Lo que se podía constatar es que eran pocos los debates, breves las respuestas a las curiosidades de los alumnos y cortas las contextualizaciones históricas de los contenidos.

Prácticamente, no había un tratamiento epistemológico, o contrariamente, el discurso del profesor parecía dejar implícito que la Física es una ciencia exacta, que sus principios más fundamentales se expresan por ecuaciones matemáticas, exactas por naturaleza, porque ese conocimiento preciso resulta de la observación y experimentación. De esa forma, demostraba una visión *empirista-inductivista* de la naturaleza de la ciencia, aunque raramente el profesor hubiese hecho afirmaciones explícitas en ese sentido. La clase prosiguió con más ejercicios hasta el final de la primera hora, cuando el profesor salió de la clase durante algunos minutos. Como era costumbre, hubo una nueva presentación de los alumnos para la segunda clase.

Un alumno nos buscó para discutir el problema (8) de aquel capítulo, en que se pedía a qué distancia se encontraba un estudiante de un edificio de 12m de altura, que él conseguía cubrir totalmente aproximando a los ojos, a 0,40m de distancia del ojo, el pulgar de 0,02m. El alumno había construido la solución, por semejanza de triángulos obtuvo la distancia escribiendo  $0,02/12=0,40/x$ . Dijimos que los cálculos estaban correctos. Pero su duda era cómo transformar en grados el ángulo  $\alpha$  entre la línea de visión y la cima del edificio, para el cual él usara, acertadamente,  $\text{tg}\alpha$ . Respondimos que debía consultar una tabla o responder que se trataba del ángulo  $\text{arctg } 0,05$ . Él no discordó. Tampoco concordó. Pero era visible que él tenía una notable precisión de raciocinio y hacía uso de conocimientos anteriormente adquiridos (en este caso, el dominio de la trigonometría).

Actitudes así, no eran inusuales, y hacían creer que aquel grupo estaba, en gran parte, constituido por alumnos con excelente nivel de desarrollo cognitivo, dedicados y estudiosos. Podríamos decir sin temor, que la mayoría era alumnos con nivel "superior a la media". Tuvimos la oportunidad de conversar ese día con dos alumnas bastante reservadas, que difícilmente se manifestaban en clase. Dijeron que les había gustado más la Termodinámica, pues *en Óptica Geométrica es muy complicado construir las imágenes*, según palabras de una de ellas. Al regresar, el profesor pidió que algún voluntario resolviese la cuestión (8). El alumno que nos procuró estaba bien preparado y presentó los cálculos. El profesor comentó:

*(...) ¿De dónde ha sacado eso? De una proporción entre el tamaño y la distancia del dedo y del edificio. Esto es Matemática, no tiene nada de Física (...). En el apartado b, usamos la tangente del ángulo que es cateto opuesto dividido por cateto adyacente (...) obtenemos exactamente 0,05 y el ángulo es aquél cuya tg es 0,05, en radianes (...). En el caso de una pregunta de selectividad, ciertamente se presentaría una tabla para hacer la conversión (...).*

De esas palabras, se desprendía claramente la preocupación del profesor con la preparación de los alumnos para la selectividad, que también era una preocupación de la escuela. También se podían ver otros aspectos. Ricardo y Freire (2007) en un estudio exploratorio a respecto de las concepciones de alumnos de Enseñanza Secundaria sobre la

Física afirmaron que *parece que la relación entre Física y Matemática no es clara entre los que enseñan esas asignaturas* y como consecuencia los alumnos presentan esas mismas dificultades. Esos autores atribuyeron algunas de las causas de esa situación a la *forma en que los libros didácticos suelen presentar la Física, excesivamente presa a la aplicación de fórmulas (...)*. Afirmaron que la formación de los docentes es otro factor importante, y que *es común encontrar profesores que al resolver ejercicios con sus alumnos utilizan frases del tipo: de ahora en adelante ya no es Física, es solo Matemática...* (negritas nuestras). Sugieren que *discusiones epistemológicas e históricas acerca de las teorías físicas* podrían ayudar a suplir esas dificultades.

Compartimos esas ideas. Como se pudo ver por la descripción del cotidiano de las clases del profesor expresiones como las que hemos destacado, colocadas por Ricardo y Freire, se hacían presentes con frecuencia en sus clases. El profesor pasó rápido para más ejercicios:

*(...) tenemos una vela de 2cm de altura a 4cm de distancia de una cámara oscura de 5cm de largo. Se pregunta ¿cuál es el tamaño de la imagen que se forma? Es sólo usar la relación que el libro presenta y que vimos en el laboratorio, "i/o=p'/p", o sea, i/2=5/4 lo que resulta i=2,5cm. El ejercicio también quiere saber cuál es la longitud del rayo de luz. Para eso basta hacer una relación usando triángulos. (...) un triángulo rectángulo formado por la distancia del objeto al agujero con altura igual a la mitad de la altura de la vela y otro triángulo rectángulo de la longitud de la caja (...). Se usa Pitágoras y después se suman las dos hipotenusas (...).*

No hubo preguntas. Las explicaciones eran claras. Discutió después el eclipse solar y por fin solicitó la formación de parejas para un pequeño trabajo sorpresa sobre espejos esféricos. Escribió en la pizarra 5 preguntas:

- 1) *¿Cómo se construye un espejo esférico?*
- 2) *Conjuge una imagen de un punto objeto en un espejo esférico.*
- 3) *¿Qué es un sistema estigmático?*
- 4) *Muestre cómo se forma el foco en un espejo esférico.*
- 5) *Construya la imagen del objeto (dado un espejo convexo, el foco y el centro).*

Los alumnos formaron rápidamente las parejas, sin ruidos y en silencio empezaron a trabajar. Usaban el libro para consulta y dijeron que tenían problemas con la primera pregunta. El profesor confirmó que aquella pregunta no era abordada en el libro y dio entonces una breve explicación sobre la construcción de un espejo esférico a partir de una esfera bien pulida, de la cual se podría cortar un casquete. No fue posible concluir la tarea y los alumnos pidieron que las pudieran concluir en casa.

Al inicio de la vigésima séptima clase, el día 12 de junio, había cierto clima de ansiedad para la entrega de los trabajos. Los alumnos eran perfeccionistas, pidieron poder

concluir el trabajo en casa, pues querían organizar, investigar, escribir mejor. Pero había algo más. Posiblemente, una idea de fondo que muy bien se asocia al behaviorismo o comportamentalismo y que naturalmente se vislumbraba en aquella escuela: la conexión estímulo-respuesta (E-R) y las consecuencias de las respuestas. Según el comportamentalismo, si la consecuencia de la respuesta es buena, la tendencia es aumentar la frecuencia de la conducta; si la consecuencia es mala, la tendencia es disminuir la frecuencia de la conducta y así el comportamiento puede ser controlado por las consecuencias (Moreira, 1999, p.51). Los alumnos parecían portarse de manera correcta para obtener recompensas (buenas notas) y a evitar castigos. La preocupación con la elaboración y entrega de los trabajos en el día y hora cierta eran síntomas de eso. El profesor empezó la clase dibujando un esquema: espejo plano-objeto-imagen:

*(...) La imagen del espejo plano es virtual, se coloca detrás del espejo a la misma distancia que el objeto está del espejo. (...). Estoy introduciendo espejos esféricos, pero hice una referencia a espejos planos para mostrar las diferencias. Los espejos esféricos pueden producir imágenes reales o virtuales y para eso planteamos por los menos dos rayos de luz incidentes (...).*

Una alumna le prestó al profesor un pequeño espejo que él utilizó para reflejar en la pared los rayos de sol que entraban por la puerta. Sirvió para relajar el ambiente, y sólo en ese momento él recogió los trabajos y regresó a las explicaciones: tipos y elementos de espejos esféricos, rayos de curvatura, foco, y avisó que pasaría para el ítem 3 de aquel capítulo, que trataba de *Imagen y punto objeto conjugados*. Mostró la construcción de la imagen y habló del campo de cada tipo de espejo:

*La imagen se forma en la intersección de los rayos reflejos o en la intersección de las prolongaciones. ¿Ya os habéis dado cuenta de que en esta configuración del espejo cóncavo la imagen es real porque está enfrente del espejo y en el convexo la imagen es virtual? ¿Por qué?*

Alumno 1: *Está detrás del espejo.*

Profesor: *En el espejo convexo la imagen siempre es virtual y menor.*

Alumno 2: *¿La p y la p' de este espejo son simétricos?*

Profesor: *No es simétrico. ¿por qué?*

Alumno 3: *Debido a la curvatura.*

Alumno 4: *¿Por qué esa recta (refiriéndose al eje)? ¿Dónde está el centro?*

Profesor: *Esa recta es el eje principal, pasa por el centro y por el foco y divide el espejo esférico en dos semicasquetes. Es fundamental para la construcción de las imágenes. El centro corresponde al centro de la esfera que dio origen al espejo (...).*

Los alumnos hacían muchas preguntas, pero el profesor, como de costumbre, respondía hasta cierto punto; después, y para no permitir que se desviasen del asunto, retomaba las explicaciones:

*Existen dos condiciones, llamadas “condiciones de Gauss” para tener imágenes más claras: a) que el ángulo de apertura sea menor de 10°; b) los rayos incidentes deben ser paraxiales tanto como sea posible, pequeña inclinación con relación al eje (...).*

Señal sonora. Fin de la clase. Pero el profesor sólo concluyó la clase después de acabar su explicación. Su objetividad, en general, permitía pasarse un poco en el tiempo y con eso evitaba que se perdiese todo un raciocinio. Ese día, concluyó con un acuerdo: si estudiasen en casa e hiciesen todos los ejercicios de aquel ítem serían dispensados de la EP, en la clase siguiente. Los alumnos se pusieron muy contentos.

Las clases 28 y 29, el día 13 de junio, empezaron puntualmente a las 7h30min, como habitualmente ocurría. Observamos que los alumnos, en realidad, llegaban a la escuela 10 minutos antes del horario de clase para participar de la “forma”: canto del Himno Nacional e izada de la Bandera Nacional. Impecablemente uniformizados, usando boinas, los alumnos eran advertidos cuando no participaban de la “forma”. La clase fue una continuación de espejos esféricos. El profesor empezó dibujando dos espejos cóncavos y trazó dos configuraciones de rayos incidentes. Algunos alumnos avisaron que era el cumpleaños de un compañero. Cantaron “cumpleaños feliz” junto con el profesor. Esos episodios sociales y las breves bromas habituales del profesor hacían, en general, el clima de las clases más amistoso. Pero las clases iniciaban sin demora.

El profesor pasó para el espejo convexo. Dibujó un espejo, rayos paralelos al eje principal y mostró que las prolongaciones de los rayos reflejos se encuentran en el foco. Había ese día un pequeño grupo de alumnos que conversaban en voz baja. El profesor localizó el foco. Cogió de un alumno un trabajo sobre ‘mercantilismo’. El alumno no se estremeció, esperó alguna broma, que no tardó. El profesor pasó a leer en voz alta parte del contenido, hizo un breve discurso contrario a la política mercantilista y por fin dijo: *¿Esto es Física? No. Entonces vamos a continuar aquí donde el mundo es más bonito.* La clase continuó, después de eso, sin murmullo como era habitual:

*Son tres los rayos más usados para construir imágenes ... rayo que incide paralelo al eje es reflejado pasando, él mismo o su prolongación, por el foco ... rayo que incide en el vértice tiene ángulo de incidencia igual al ángulo de reflexión... rayo que pasa por el foco vuelve paralelo al eje principal (...). ¿Es interesante, no? Son tres rayos, son tres leyes de Newton, son tres leyes del Magnetismo... ¿será qué fue la Iglesia quién inventó eso?*

Como la pregunta fue dirigida a la investigadora, respondimos: *Todo el conocimiento es una invención del hombre.*

Ésta había sido la primera vez que el profesor hizo un comentario más o menos explícito sobre la naturaleza y posible “invención” de leyes en la Física. Pero el efecto en

las concepciones de los alumnos fue dudoso, pues el tono de las palabras del profesor hacía suponer que tal vez fuese, todo aquello, apenas un juego de palabras, una broma. Nos parecía que una reflexión sería sobre la naturaleza de la ciencia demandaría un debate conducido con rigor.

La clase prosiguió con explicaciones, preguntas y nuevas explicaciones y así se abordaron los diversos ítems sobre construcción de imágenes puntuales (espejo cóncavo y convexo). El profesor pasó después para los ejercicios. Ésos eran momentos en los que los alumnos no reclamaban. Parecían estar de acuerdo en que resolver el máximo de ejercicios era condición necesaria para adquirir habilidad, tranquilidad y preparación para las evaluaciones. Fin de la primera clase. En los pequeños intervalos entre las dos clases consecutivas los alumnos permanecían en el aula, como ya se ha dicho, pero tenían la libertad para moverse, conversar, discutir ejercicios, intercambiar ideas o aclarar dudas y las conversaciones solían ser animadas.

Cuando retornó a la clase, el profesor les pidió a los alumnos que permaneciesen en forma, de pie. Nadie se sentó. El profesor solicitó entonces que citasen en voz alta los tres rayos principales para la construcción de imágenes en espejos esféricos. Los alumnos, más o menos en coro, citaron los rayos. El profesor pidió que repitiesen y solamente les dio permiso para sentarse después de haberse dado por satisfecho.

*Estáis viendo que yo me estoy deteniendo en esas construcciones. ¿Por qué? Porque ciertamente esto será exigido en las evaluaciones.(...) Es usual usar líneas llenas para representar los rayos incidentes y/o reflejados, en el lado real del espejo, y líneas punteadas para representar las prolongaciones de los rayos (...).*

Pensamos que ésa habría sido una buena oportunidad para hablar de la Óptica Geométrica y sus conceptos (rayo de luz, por ejemplo) en términos de un “modelo” construido por el hombre para explicar la realidad, como también, hablar de las “convenciones” que la comunidad científica comúnmente adopta para representar esos conceptos y modelos. Pero el profesor no dijo nada a ese respecto.

Muchas veces nos preguntamos si, de hecho, discursos epistemológicos de ese tipo podrían haber contribuido de forma contundente para mejorar el desempeño de aquel grupo de alumnos, que, como ya se ha dicho en varias oportunidades a lo largo de esta descripción, ya era bueno. Tomando por base aquella cultura, en aquel contexto, siempre creemos que representarían una contribución importante para la reflexión crítica si fuesen conducidas junto con alguna actividad específica, como actividades de laboratorio, por ejemplo, o a través de la discusión de algún texto paradidáctico, en que la curiosidad fuese estimulada y pudiese dar origen a un amplio debate acerca de la naturaleza y justificación del conocimiento científico.

De otra forma, los alumnos, acostumbrados a acompañar el contenido por el libro de texto, acostumbrados con respuestas objetivas, según se podía observar, se sentían en terreno seguro concibiendo el trabajo de los científicos como una actividad de tal forma organizada que su producto

(las teorías y leyes de Física) era algo incuestionable. El profesor, con su objetividad sistemática, reforzaba ese tipo de concepción.

El resto de la clase fue dedicado a la discusión y a la resolución de ejercicios sobre la construcción de imágenes con espejos esféricos. El profesor insistía para que dibujasen los esquemas de formación de imágenes en los cuadernos con el argumento de que: Tienen que ganar intimidad. Nuevamente, antes del final de aquella clase pidió que repitiesen en voz alta los ahora cuatro rayos principales. Era el proceso de memorización, una vez más, en acción.

En la clase 30, el día 19 de junio, el profesor hizo una recapitulación del contenido para la EP (evaluación parcial) de la clase siguiente, capítulo 27 del libro, sobre Termodinámica. Empezó dibujando una secuencia de gráficos que correspondían a los ejercicios 16, 17, 18 y 19 de aquel capítulo, todos del tipo P<sub>x</sub>V de máquinas térmicas de ciclo cerrado, donde se pedía calcular el trabajo realizado en el ciclo, o en diferentes etapas del ciclo, o la relación entre las temperaturas T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub> de las diferentes etapas, o entre volúmenes V<sub>i</sub> y V<sub>f</sub>, etc.:

*(...) No voy a resolver todos los problemas del capítulo, sino sólo los que considero más importantes y representativos (...). Ya dije que en un ciclo en el sentido horario tenemos transformación de calor en trabajo y en el sentido anti-horario tenemos transformación de trabajo en calor. ¿Conseguís poner un ejemplo?*

Alumno 1: *En el sentido horario es la máquina a vapor.*

Profesor: *Eso es. ¿Y en el sentido anti-horario?*

Alumno 2: *¡El frigorífico!*

En general, las respuestas de los alumnos eran coherentes, no se oían disparates. Preguntas y respuestas eran tomadas en serio. Se percibía que los alumnos estaban estudiando y acababan discutiendo algunos aspectos con los compañeros. El profesor pidió silencio. Toda aquella clase fue dedicada a la discusión de los cuatro problemas propuestos, que eran, de hecho, representativos. Hubo innumerables oportunidades para que los alumnos pudieran aclarar las dudas. La clase parece que fue bastante provechosa, con resoluciones y dibujos detallados con el objetivo de interpretar los enunciados de los ejercicios. Hubo explicaciones, preguntas y nuevas explicaciones.

Se podía observar que el profesor hacía poco uso de situaciones del cotidiano para explicar o ejemplarizar fenómenos físicos. Él era, visiblemente, adepto a la matematización, algebraica o numérica. Ese terreno parece que le era más seguro y preciso. Posiblemente la misma precisión con que el profesor percibía la Física.

Las clases 31 y 32, el día 20 de junio, tuvieron lugar en un día muy lluvioso y frío de invierno, con apenas 21 alumnos en la clase. El silencio era absoluto. De vez en cuando llegaba un nuevo alumno, atrasado, pedía permiso para entrar y el profesor autorizaba. Los alumnos acompañaron por el libro una breve revisión de las leyes de la reflexión que el profesor hizo antes de hablar de refracción. Pero, parecían preocupados con la EP, pues, como ellos mismos

decían *Física es la asignatura que más preocupa*. Aunque muchos alumnos de aquella clase demostrasen que les gustaba la Física, era considerada “la asignatura” difícil de la Enseñanza Secundaria.

Profesor: *(...) volvemos hoy para la Óptica Geométrica (...). Sabemos que la velocidad de la luz en el vacío es máxima, 300.000 km/s, y ésta es, aproximadamente, la velocidad también en el aire, pero la luz sufre un desvío al pasar de un medio transparente para otro, por ejemplo, del aire para el agua (...). El medio 2 es más denso y lo que se observa es que el rayo se aproxima a la normal. El libro llama  $\theta_1$  el ángulo de incidencia y de  $\theta_2$ , el de refracción. (...), tenemos que: 1<sup>a</sup> rayo incidente, rayo refractado y normal están en el mismo plano; 2<sup>a</sup> Ley de Snell,  $n_2 \sin \theta_2 = n_1 \sin \theta_1$  (...).*

Alumna 2: *Profesor yo vi una película en la que la luz salía de una piscina y se quedaba en la superficie.*

Profesor: *Existe un ángulo límite por encima del cual la luz es totalmente reflejada, es la “reflexión total”, vamos a ver esto más adelante.*

La clase siguió a ese ritmo y fue típicamente expositiva. El profesor mostró lo que pasa cuando el ángulo de incidencia aumenta con relación a la normal, aproximándose cada vez más a 90°, la refracción alcanza el ángulo límite:

*Esto responde a la pregunta de la compañera. El rayo de luz es reversible. (...). Si tomamos un ángulo un poco mayor que el ángulo límite, tendremos reflexión total (...).*

En el pequeño intervalo entre las dos horas de clase, conversamos con dos alumnas. Tenían opiniones diferentes sobre los diversos contenidos de Física.

Alumna 5: *No me ha gustado Óptica, es muy aburrido. Prefiero cálculos, es solo memorizar las fórmulas y se puede sacar 10.*

Alumna 6: *Me ha gustado la Óptica. Es más visual, yo no me gustan mucho las Matemáticas (...).*

Como en varias otras oportunidades, algunos alumnos nos buscaron en el intervalo queriendo aclarar dudas antes de la EP. Un alumno hizo una queja que tenía que ver con el hecho de estar ya estudiando Óptica cuando *el profesor decidió hacer una EP sobre la parte final del contenido de Termodinámica*. Pero no era casual, había una estrategia que tenía que ver con el final del semestre y la proximidad de la prueba bimestral (EE). Parecía revelar también que la práctica de algunos alumnos centrada en el esfuerzo de memorizar fórmulas y ejercicios no les daba seguridad, posiblemente porque no había aprendizaje significativo.

El comienzo de la clase 33, el día 26 de junio, fue marcado por un sentimiento de preocupación con el rendimiento de la última evaluación (EP). Algunos alumnos dijeron que no habían conseguido resolver la pregunta 1. El profesor informó que retomaría en la clase siguiente las preguntas de la EP y continuó con la Óptica Geométrica. Volvió a hablar

de la reflexión total, respondió algunas preguntas y pasó para el capítulo siguiente del libro.

Profesor: *En los días calurosos de sol fuerte, tenemos la impresión de que hay charcos de agua en el asfalto. (...) llamamos eso de "ilusión de óptica", o espejismo. (...) las capas de aire cerca del suelo se quedan menos densas, como si hubiese medios diferentes, tiene lugar refracción en pequeños órdenes, es decir, no de forma abrupta. El rayo de luz sufre pequeñas y consecutivas refracciones debido a que pequeñas diferencias de densidad de medio. Lo que la persona ve es la reflexión de la luz del sol como si estuviese viendo un charco de agua.*

Alumno 3: *¿El espejismo en el desierto es así también?*

Profesor: *Es un esquema parecido. Si hay un camello, un árbol, etc., lo que el sujeto ve, debido al calor excesivo, es un desvío de los rayos de la luz del sol y el árbol parece boca abajo, como si hubiese un lago reflejando la imagen.*

Los alumnos se mostraban encantados con las explicaciones sobre fenómenos muy comunes en las películas y también en el día a día. El resultado de esos momentos era siempre un incentivo a la curiosidad, preguntas, y cierto nivel de discusiones paralelas. Pero el profesor intervino, pasó para el ítem siguiente: *láminas transparentes de facas paralelas.*

Profesor: *El rayo (...) sufre desvío, atraviesa la lámina y sale paralelo al rayo incidente, después de atravesar la segunda superficie y sufrir un nuevo desvío. El desvío es dado por la fórmula  $D=[l.\text{sen}(\theta_i - \theta_r)]/\cos\theta_r$ . La posibilidad de que caiga en la selectividad esta fórmula es casi nula, por tanto, no es importante. Lo que importa son los conceptos.*

Alumno 4: *¿Cuál es la posibilidad de que caiga en la EP?*

Profesor: *No hay ninguna posibilidad. Si no cae en la selectividad, no cae en la EP.*

El diálogo es autoexplicativo en lo que se refiere a la importancia relativa de los contenidos y nuevamente se destaca la preocupación con la selectividad. El profesor era determinado y pasó rápido para los prismas de reflexión: *prisma de AMICI* (en formato de triángulo rectángulo-isósceles) en el que siempre tiene lugar reflexión total. Después habló del *Prisma de Porro*, en el que tienen lugar dos reflexiones totales internas. La clase se acabó en ese ritmo.

Las clases 34 y 35 fueron el día 27 de junio. Debido a las ausencias observadas en la clase anterior, motivadas por las intensas lluvias que hubo en la ciudad, el profesor permitió que los alumnos que no habían hecho la EP, la hiciesen ese día. La clase fue atípica. Hizo nueva revisión de la Termodinámica y después de la Óptica, al mismo tiempo que parte de la clase hacía la evaluación parcial (EP).

Una alumna afirmó que la EP estaba difícil y pidió que se pudiese hacer en parejas. El profesor consintió y limitó el tiempo en 25 minutos, bajo la protesta de los colegas que habían hecho la evaluación individualmente. El profesor bromeó y dijo que las reclamaciones tenían que hacerlas a la Directoría. Los alumnos se rieron aliviados, sabían que en

aquella estrategia había alguna intención. Y había. El profesor informó que no tendría en cuenta el número de aciertos (o de errores) obtenidos en la EP y que atribuiría un punto para todos, por haber respondido la evaluación. Motivo: el desempeño general no había sido considerado bueno.

Fue posible percibir en la expresión de los alumnos una mezcla de alivio y preocupación. Las EPs tenían la función de acompañar el desarrollo de la enseñanza y aprendizaje de los alumnos y un rendimiento inferior al esperado tenía un significado mayor que una simple nota mala, pues indicaba que no estaban adecuadamente preparados para la prueba, aunque garantizar un punto, como ellos mismos afirmaron, *siempre valía la pena*. Una vez más el esquema comportamentalista de las contingencias de refuerzo se hacía presente.

Los alumnos participaron activamente de la revisión, procurando aclarar las dudas que tuvieron en la EP. El profesor revisó la Termodinámica: leyes, tipos de transformaciones, energía, trabajo, calor, máquinas térmicas, etc. Resolvió la primera pregunta de la EP, la que había causado tanta polémica. Dibujó el gráfico en el que aparecía un ciclo cerrado en forma de triángulo rectángulo.

Profesor: *El trabajo del ciclo es dado por el área del triángulo. Pero, ¿qué es un ciclo? Es una ida y vuelta. ¿Cuál es la variación de energía interna? Es cero ( $\Delta U=0$ ). Una vuelta completa, un ciclo, no implica variación de energía interna. Luego,  $\Delta U=Q-\tau=0$ . Esto respondía la primera pregunta de la cuestión 1 de la EP. Aún tenemos que  $Q=n.c_p.\Delta T$ , donde  $c_p$  es calor específico a presión constante; y  $Q=n.c_v.\Delta T$ , y  $c_v$  es calor específico a volumen constante. Si tenemos una isoterma en la curva que une dos puntos del gráfico P XV...*

Alumno 1: *¿Por qué isoterma? ¿Cómo lo sabe?*

Profesor: *Porque en el gráfico presentado se puede ver que tanto presión como volumen varían, pero varían de forma proporcional, de manera que el producto es constante y eso es una transformación isotérmica. Se pedía ¿"cuál es la relación entre las temperaturas"? Si estoy en una isoterma, ¿cuál es la relación entre  $T_1$  y  $T_2$ ?*

Alumno 2: *Son iguales.*

El profesor hizo uso del libro de texto y siguió con la revisión en el mismo orden de los capítulos. En determinado momento dijo que *calor suministrado es energía e implica en temperatura, o medida de la agitación térmica de las moléculas*. Se percibe que aquí, en la revisión, el profesor se refirió a la energía interna como la medida de la agitación térmica de las moléculas. Parecía que algunos conceptos físicos eran obvios para el profesor y, posiblemente, era así también para los alumnos. Pero las cosas no eran tan simples. Estudiar con el libro de texto y resolver muchos ejercicios parecían ser estrategias insuficientes para que la Física tuviese lógica para todos los alumnos de aquel grupo.

La señal sonora indicó el final de la primera clase. El profesor recogió las EPs y volvió a destacar que no corregiría las preguntas. Nos quedamos en la clase. Esos momentos eran siempre buenas oportunidades para conversar y oír los alumnos. Varios nos buscaron para discutir las preguntas de la EP. Sabían exactamente dónde se habían equivocado. Estaban decepcionados. La primera pregunta suponía algunos conocimientos que no estaban explícitos en el libro, por ejemplo, deberían saber que un ciclo completo no envolvía variación de la energía interna del sistema. Algunos no se creían que se les hubiese escapado eso.

No tuvimos acceso a las respuestas de los alumnos en la EP, pero según parecía, el desastre no era total, se limitaba a la primera pregunta, lo que hacía suponer que la decisión del profesor de no corregir las EPs era mucho más una estrategia para forzar los alumnos a estudiar y prepararse mejor para la prueba bimestral. Él mismo afirmó que el contenido era extenso y la prueba, en la que entraba todo el contenido del bimestre, exigía mucho estudio. Una vez más, el estímulo-respuesta.

Aquella segunda hora de clase marcó también el fin de las clases del primer semestre, ya que en la clase siguiente habría prueba EE (Evaluación de Estudios). La revisión continuó de la Termodinámica a la Óptica Geométrica, en ritmo acelerado y sin discusiones prolongadas, como de costumbre.

Profesor: (...) *¿Qué es luz? Es onda (...) la luz es semejante a una onda de radio, a las micro-ondas, etc.*  
*¿Cuál es la diferencia? Es la frecuencia.*

Alumno 3: *¿Y el rayo gama?, ¿cuál es la diferencia?*

Profesor: *Rayo gama es de altísima energía. Puede atravesar hasta el plomo. Pero eso es materia del 3º año. Vamos a seguir. ¿Cuáles son los principios de la Óptica Geométrica?*

Alumnos: *1) la propagación es rectilínea; 2) los rayos son independientes y 3) reversibilidad de los rayos (...).*

La clase estaba especialmente silenciosa en una mañana fría y lluviosa de invierno. Aun así, los alumnos respondían con precisión cuando el profesor les preguntaba. El profesor hacía uso de algunos juegos de palabras para intentar “coger” los alumnos. Intentaba mantenerlos participantes en la revisión que tenía que ser rápida y amplia. Fue básicamente una clase de revisión teórica y no incluyó resolución de ejercicios. Los alumnos preguntaban, examinaban el libro, aparecía alguna duda y preguntaban nuevamente. A veces se trataba de un intercambio de ideas. Los alumnos estaban concentrados y parecían querer sacar el máximo de provecho de las explicaciones del profesor como preparación para la prueba. La clase transcurrió en ese ritmo.

Las clases 36 y 37, el día 01 de julio, fueron destinadas a la prueba bimestral que tuvo el mismo nivel que las EPs, pero fue más amplia y profunda, con ejercicios trabajosos y que exigían un buen nivel de conocimiento. Nada diferente de lo que los alumnos estaban acostumbrados. Fue un día de despedidas. Parecía que habíamos conseguido conquistar la amistad de muchos de aquel grupo de alumnos. Nadie

suspendió en aquel semestre y tampoco hubo evaluaciones por debajo de la media. Parecía un indicio de que las cosas estaban andando como lo esperaba la escuela, el profesor y los propios alumnos.

## **6. ALGUNOS HALLAZGOS DEL ESTUDIO DE CASO CON EL PROFESOR**

La descripción de la cultura escolar estudiada en este trabajo está marcada por largas transcripciones de palabras del profesor, con el objetivo de mostrar cómo la vida en aquel contexto y el movimiento de los actores sociales giraba alrededor de su discurso. A través de clases objetivas, bien dimensionadas, caracterizadas por el rigor técnico en la resolución de ejercicios, dándole prioridad al formulismo, más que a los aspectos conceptuales, las clases del profesor no dejaban de ser interesantes y eficaces. De algún modo, por su manera de ser y por su gran experiencia y conocimiento, el profesor conseguía que sus alumnos se mantuviesen al día con los estudios y alcanzasen el rendimiento esperado por la escuela.

Con frecuentes bromas y un modo divertido de ser, las clases eran, en realidad, conferencias para explicar la realidad físicamente. Los contenidos presentados de forma casi cronometrada para poder cumplir un extenso programa, eran revisitados, ejercitados y nuevamente revisados a través de una estrategia basada en clases expositivas, acompañadas por los alumnos a través del libro de texto, y en la exhaustiva resolución de ejercicios, conducida por el profesor con la participación de los alumnos y acompañada de nuevos comentarios y aclaraciones del profesor. Por todo eso, clasificamos esa dinámica, típicamente, de clase del tipo tradicional. La elevada capacidad técnica, el dominio de los contenidos y la gran experiencia de docente del profesor driblaban la monotonía y hacían la diferencia.

Ejercitar el pensamiento y la reflexión crítica de los alumnos no era el fuerte del profesor. Sin embargo, creemos que añadir a los objetivos de la enseñanza y aprendizaje de la Física aspectos de la naturaleza de la ciencia, sobre cómo obtiene la comunidad de físicos las leyes y teorías, su justificación y controversias, no significa negarles a los estudiantes espacio para la cultura científica, sino al contrario puede incentivarla. En ese sentido, la discusión de algunas visiones contemporáneas sobre la naturaleza de la ciencia puede ser una vía capaz de ofrecer esas oportunidades en las clases. Pero no era eso lo que se observaba en aquella escuela.

El profesor dejaba translucir, en su discurso, una creencia profunda en la “autoridad” de la Física como ciencia objetiva y productora de un conocimiento incuestionable, porque *deriva de la observación y experimentación*. Varias veces hizo ese tipo de afirmación de forma explícita. A ese tipo de postura, Chalmers (1999, p.23/35) la llama *empirista-inductivista*, porque cree que la ciencia empieza con la observación, hace afirmaciones consideradas verdaderas sobre el mundo, utiliza la lógica inductiva para justificar afirmaciones universales y, una vez obtenidas las teorías universales, de ellas se derivan consecuencias que sirven como previsiones. Se trata de una visión de la naturaleza de la ciencia superada por el debate epistemológico de las últimas décadas.

La preocupación del profesor era enseñar la Física, no aspectos sobre la Física, sus procedimientos y sus controversias. Las estrategias no privilegiaban discusiones, debates o cuestionamientos desde el punto de vista epistemológico. Le preocupaba la transmisión del conocimiento ya producido a los alumnos. Freire y Shor (2006, p.18) afirman que, en general, *reducimos el acto de conocer (...) a una mera transferencia del conocimiento existente*. Ese síntoma, no hay como negarlo, fue bastante visible en lo cotidiano de aquella escuela militar.

Se puede decir que el objetivo central de las clases de Física, y también de aquella escuela militar, se centraba en la preparación de los alumnos para los exámenes de selectividad y por lo tanto, en el cumplimiento del contenido programado y en la adquisición de habilidades para resolver ejercicios. La descripción de la rutina de las clases mostró que los alumnos no se limitaban a oír y coger apuntes o copiar ejercicios resueltos al estilo de una educación acumulativa, “bancaria”, en que se hacen pequeños depósitos diarios de conocimiento en la mente de los estudiantes. Los alumnos oían las explicaciones, las acompañaban por el libro de texto, pero también eran estimulados a responder y a preguntar. Era común que el profesor preguntase ¿han entendido? Es decir, al mismo tiempo que recibían explicaciones, tenían que participar activamente respondiendo a los pequeños y frecuentes desafíos lanzados por el profesor. También podían interrumpir en cualquier momento las explicaciones, para aclarar sus dudas. Sin embargo, eran intervenciones puntuales para promover el dominio del conocimiento ya producido, el que habitualmente se encontraba en los libros de texto.

Los alumnos, de manera general, conseguían acompañar el raciocinio del profesor y el desarrollo de los ejercicios, y las frecuentes evaluaciones (EPs y EEs) los forzaban al estudio y funcionaban típicamente como estímulo externo. Así, si el objetivo principal puede ser definido como una enseñanza de Física dedicada a preparar para la selectividad, no nos quedan dudas de que fue plenamente alcanzado. El buen rendimiento de los alumnos en las evaluaciones lo demostraba – las respuestas eran buenas. Por eso, desde el punto de vista de las teorías de aprendizaje, el trabajo del profesor se encuadraría plenamente en el enfoque comportamentalista skinneriano.

Con relación a aspectos de las visiones epistemológicas, se puede afirmar que, de hecho, no eran abordados en las clases. Los principios, leyes y teorías de la Física no eran objeto de cuestionamiento, pues eran tomados como verdades absolutas; el proceso de producción del conocimiento científico, la lógica, la validez, las controversias, tampoco eran abordadas. Además, siempre que había discusiones, eran breves, normalmente cortadas debido al factor tiempo. Raramente se establecían diálogos o debates en los que ideas o significados pudiesen ser negociados y resultasen en reflexiones de ese tipo. De esa forma, la cuestión del cambio epistemológico estaba ausente de las estrategias didácticas del profesor.

Sin embargo, no se puede afirmar que la ausencia de esas discusiones sobre la naturaleza de la ciencia de forma

explícita comprometiese la eficacia de las clases y afectase el interés de los alumnos. De hecho, el rendimiento era bueno debido al nivel de evaluaciones y de contenido programático adoptado por la escuela, o sea, se exigía lo que se enseñaba. Una filosofía muy comportamentalista, pero que no nos autoriza a decir que, si el profesor tuviese concepciones epistemológicas alineadas a las visiones contemporáneas, sus clases habrían tenido significativas mejoras. Como ya dijimos, el profesor hacía uso de otros artificios para hacer sus clases atractivas y eficaces, o sea, sabía usar estímulos y refuerzos positivos, que sumados a la calificación de los estudiantes, resultaban en una enseñanza de Física de buen nivel, desde el punto de vista behaviorista.

Es verdad que se percibía una tendencia la memorización de fórmulas y de problemas-modelo. Pero, varias teorías contemporáneas de aprendizaje (Ausubel, 1978; Novak, 1981 *apud* Moreira, 1999) consideran que el aprendizaje mecánico y el aprendizaje significativo no son dicotómicos. Lo que se pudo inferir de la observación participante de aquella realidad escolar es que todo empezaba con el aprendizaje mecánico, pero el estudio individual, las consultas fuera de la clase y la gran cantidad de resolución de ejercicios, acompañados de nuevas explicaciones y aclaraciones, siempre en el grupo grande y de forma clara, tal vez acabasen resultando en aprendizaje significativo para varios alumnos de aquel grupo.

Había paradojas en aquella cultura, como ya se ha dicho, pues mientras que parte de los alumnos decía que tenía pasión por la Física, algunos tenían aversión a la asignatura. Éstos necesitaban intensificar los estudios, o como ellos mismos decían, *estudiaban el doble*. Sin embargo, suponer que la introducción de discusiones epistemológicas, con base en las VECs, pudiese cambiar ese escenario, funcionar como factor de motivación o incitar la pasión por la Física, sería mera especulación.

Lo que se puede afirmar es que enseñar Física como un conjunto de respuestas ciertas, leyes incuestionables, trucos intelectuales, fórmulas que hay que memorizar, explicaciones correctas, es oscurecer su lado más bonito: la Física como una construcción humana, inacabada, simplemente porque no existen preguntas finales. En ese sentido, presentar las leyes y teorías bajo la óptica de las visiones epistemológicas contemporáneas es más coherente con la Física como ella es.

Con relación a la cualificación e interés de los alumnos hay que tener en cuenta que, como ya se ha dicho, tenían excelente cultura general, demostraban motivación para la lectura, información, cultura, medio ambiente, por los progresos de la ciencia en sus diversos campos y, normalmente, conversaban sobre esas cuestiones en los pequeños intervalos y fuera de las clases. Por eso, parecían tener un alto grado de madurez y buen nivel cultural. De esta manera, tampoco es posible afirmar que la laguna dejada por la no discusión de la naturaleza de la ciencia tenga como resultado una educación menos interesante y eficaz.

Lo que se puede decir es que si la naturaleza de la Física fuese presentada bajo el enfoque de la Filosofía de la Ciencia contemporánea, tal vez podría ofrecer terreno fértil

para la reflexión crítica de los estudiantes, justamente por su cualificación y buen nivel cultural y motivacional.

No se puede perder de vista que todo lo que se ha descrito y reflexionado en este estudio eran características de aquella realidad particular, de aquel escenario, de aquella escuela. Por eso, se deduce que aquella escuela militar se constituye en una realidad diferenciada y las conclusiones aquí discutidas no pueden ser extrapoladas para otros tipos de escuelas. En un estudio de este tipo lo se pretende es llegar a una comprensión descriptiva contextualizada del caso en pauta.

También era notable, y merece ser destacado, que la convivencia social y las relaciones alumnos-profesor en aquella escuela eran marcadas por respeto, disciplina, organización, formalidades y un buen nivel de compromiso del profesor y de los alumnos. En ningún momento, durante los meses de la observación participante, presenciamos ningún incidente, por menor que fuese, y que hubiese llevado el profesor a tomar medidas disciplinarias o que hubiesen causado alguna situación de *estrés*. Todo parecía seguir un esquema previsible.

Además del buen nivel de conocimiento, los estudiantes tenían acceso a fuentes de información, estaban siempre bien informados sobre los acontecimientos globales, tenían buenos conocimientos de informática, filosofía, artes y muchos dominaban bien dos o más lenguas. No había dudas de que el riguroso sistema de selección para ingresar en la escuela militar tenía fuerte relación con ese panorama. Las pocas plazas anuales son disputadas por cientos de candidatos que tienen que someterse a una meticulosa preparación, que supone una larga y ardua rutina de estudios, escuelas particulares y cursos preparatorios especializados.

El resultado de ese proceso es previsible: entran los que están mejor preparados, con condición socioeconómica más equilibrada, ideales para una organización behaviorista de la enseñanza, situación que también favorece una buena organización administrativa, pedagógica, de planificación, acompañamiento de la enseñanza y disciplina. Características que han garantizado el éxito y han hecho de aquella escuela militar una escuela diferenciada.

Por todo eso, nuestro problema de investigación se responde por sí solo. Las visiones epistemológicas contemporáneas que el maestro no dominaba y, por consiguiente, no utilizó, parecían no ser significativamente contundentes, o por lo menos, impeditivas para que hubiese un buen nivel en la enseñanza de la Física, siempre que sea evaluado desde una perspectiva de dominio, en buena parte mecánica, del contenido, dedicado a preparar para la selectividad.

## 7. CONSIDERACIONES FINALES

No se pretende defender aquí los dogmas de una enseñanza comportamentalista, pues estamos de acuerdo con las nuevas tendencias de que es una filosofía ultrapasada ante las innovadoras propuestas y resultados de la investigación en enseñanza de la Física, de las ciencias en general, de las últimas décadas, que conciernen, especialmente, al aprendizaje significativo; pretenden aclarar las condiciones

que favorecen ese tipo de aprendizaje, así como discutir nuevas situaciones y estrategias que favorezcan el dominio de campos conceptuales; buscan introducir métodos más sofisticados de enseñanza y de evaluación y tantos otros aspectos.

Pero no se puede ser ingenuo e ignorar que la evaluación, la atribución de buenos conceptos, de elogios en las clases son comunes y son auténticos ejemplos de cómo persiste el estímulo-respuesta (E-R) en las prácticas docentes, aún en nuestros días. Por otro lado, ¿será tan malo el comportamentalismo? Nada que vimos y vivimos en la cultura del aula de aquella escuela militar condena el comportamentalismo como corriente que sea incapaz de plantear problemas importantes y fértiles para la mejoría, o por lo menos, para la reflexión del proceso de enseñanza y aprendizaje de Física. Aunque existan otras formas, más próximas al saber en sí, de hacer con que los estudiantes se sientan bien, engrandecidos, no es posible afirmar que la repercusión del comportamentalismo sea necesariamente mala y que todos sus aspectos deban ser ignorados.

Pensamientos, sentimientos y acciones están integrados en el ser humano. Novak (1981) defiende que cuando el aprendizaje es significativo esa integración es positiva, constructiva, engrandecedora. Pero no se puede negar que cuando el aprendizaje mecánico es reforzado con elogios, buenas notas, aprobación en la selectividad, el sujeto también se siente bien, engrandecido, poderoso. El problema es que eso es temporario, el aprendizaje mecánico sirve para aprendizajes de informaciones a corto plazo, no para la vida. La enseñanza orientada para el aprendizaje mecánico, memorístico, sin significado, es entrenadora no educadora. La escuela secundaria brasileña entrena el alumno para aprobar la selectividad, no educa para la vida. Las mejores escuelas, endiosadas por el medios de comunicación, son las que tienen más ex alumnos aprobados en la selectividad de las universidades federales. Una ilusión, basta ser profesor de esos alumnos en las asignaturas básicas en la universidad para constatar que casi no sobra nada de lo que fue aprendido mecánicamente en la escuela secundaria. Son buenos alumnos porque fueron altamente seleccionados, pero prácticamente nada saben de Física y Matemáticas, por ejemplo.

Ciertamente, ése no es el caso de la escuela militar, donde tuvo lugar el estudio etnográfico aquí relatado. Como quedó claro, el profesor es responsable, domina el contenido, sabe dar clases desde una perspectiva tradicional, clásica, se relaciona bien con los alumnos, y la escuela cultiva valores que hacen que no se pueda hablar de un mero entrenamiento. Pero también debe haber quedado claro que había una tendencia al entrenamiento tanto de parte del profesor como de la escuela, sin la menor preocupación con la naturaleza de la ciencia, con el aprendizaje significativo, con la criticidad. Pero, lo que buena parte de la sociedad quiere es que los jóvenes sean preparados (entrenados) para aprobar la selectividad y que continúen siendo entrenados, en la universidad para el mercado de trabajo.

## REFERENCIAS

Adúriz-Bravo, A. e Morales, L. (2002). El concepto de modelo en la enseñanza de la Física – consideraciones

- epistemológicas, didácticas y retóricas. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, vol. 19, n.1, p. 79-92.
- Amorim, A.C.R. (1999). Relações entre ciência/tecnologia/sociedade na formação de professores: contribuições da História e Sociologia da Ciência. *Física y Cultura: cuadernos sobre historia y enseñanza de las ciencias*, nº 6.
- Angotti, J.A.P. (2002). Física e epistemologia heterodoxas: David Bohm e o ensino de ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, vol. 19, número especial, p. 126-156.
- Bachelard, G. (1988). *A Filosofia do não*. Lisboa:Editorial Presença.
- Blanton, P. (2004). Letter to grandma. *The Physics Teacher*, vol. 42, p.508-509.
- Bunge, M. (1960). *La ciencia su método y su filosofía*. Buenos Aires: Ediciones Siglo Veinte.
- Bunge, Mario. (1980). *Ciência e desenvolvimento*. Obra coeditada pela Editora Itatiaia (Belo Horizonte) e a EDUSP (São Paulo).
- Chassot, A.I. (1998). Fazendo uma oposição ao presenteísmo com o ensino de filosofia e história da ciência. *Episteme*, Porto Alegre, v. 3. n. 7, p. 97-107.
- Erickson, F. (1986). Qualitative Methods in Research on Teaching. In M.C. Wittrock (Ed), *Handbook of Research on Teaching*, 3rd. edition, New York: Macmillan.
- Erkina, E.; Warren, A. and Gentile, M. (2006). The role of models in physics instruction. *The Physics Teacher*, vol. 44, p. 34-39.
- Eshach, H. (2009). The Nobel Prize in the physics class: science, history and glamour. *Science & Education*, vol. 18, n. 10, p. 1377-1393.
- Feyerabend, P. (1989). *Contra o método*. Rio de Janeiro: Francisco Alves.
- Freire, P. e Shor, I. (2006). *Medo e ousadia - O cotidiano do professor*. 11ª edição, Paz e Terra, Rio de Janeiro.
- Freire, P. (2009). *Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa*. Edição especial, Paz e Terra, São Paulo.
- Gil Pérez, D. e Vilches, A. (2004). Compromisso por uma educação para a sustentabilidade (comunicações). *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, vol. 21, n.3, p. 411-412.
- Gobara, S.T. e Garcia, J.R.B. (2007). As licenciaturas em física das universidades brasileiras: um diagnóstico da formação inicial de professores de física, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Vol. 29, nº 4. p. 519-525.
- Gonzalez-Espada, W.J. (2003). A last chance for getting it right: addressing alternative conceptions in the physical sciences. *The Physics Teacher*, vol. 41, p. 36-38.
- Guisasola, J. y Morentin, M. (2007). Comprenden la naturaleza de la ciencia los futuros maestros y maestras de Educación Primaria? *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, vol. 6, n. 2, p.246-262. Em <http://www.saum.uvigo.es/reec>.
- Hashweh, M. Z. (1996). Effects of science teachers' epistemological beliefs in teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 33, n. 1, p. 47-63.
- Ibrahim, B.; Buffler, A. and Lubben, F. (2009). Profiles of freshman physics students' views on the Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 46, n. 3, p. 248-264.
- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada em la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 173-184.
- Latour, B. e Woolgar, S. (1997). *A vida de laboratório: a produção dos fatos científicos*. Relume Dumará, Rio de Janeiro.
- Liu, S.Y. and Tsai, C.C. (2008). Differences in the scientific epistemological views of undergraduate students. *International Journal of Science Education*, vol. 30, n. 8, p. 1055-1073.
- Köhnlein, J.F.K. e Peduzzi, L.O.Q. (2005). Uma discussão sobre a natureza da ciência no ensino médio: um exemplo com a Teoria da Relatividade Restrita. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, vol. 22, n. 1, p. 36-70.
- Kuhn, T. (2003). *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Editora Perspectiva. 8ª Ed.
- Lakatos, I. (1993). *Metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Alianza.
- Laudan, L. (1977). *El progreso y sus problemas*. Madrid: Encuentro Ediciones.
- Mason, L.; Boldrin, A. and Zurlo, G. (2006). Epistemological understanding in different judgment domains: relationships with gender, grade level, and curriculum. *International Journal of Educational Research*, vol. 45, p. 43-56.
- Massoni, N.T. (2009). Laboratório de Supercondutividade e Magnetismo: um enfoque e Epistemológico. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 26, n. 2 (agosto/2009).
- Matthews, M.R. (2009.a). Science, worldviews and education: an introduction. *Science & Education*, vol. 18, n. 6-7, p. 641-666.
- Matthews, M.R. (2009.b). Teaching the philosophical and worldview components of science. *Science & Education*, vol. 18, n. 6-7, p. 697-728.
- Lederman, N. G.; Abd-El-Khalick, F.; Bell, R.L. and Schwartz, R.S. (2002). Views of nature and science questionnaire: toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 39, nº 6, p.497-521.
- Massoni, N.T. y Moreira, M.A. (2010).Un enfoque epistemológico de la enseñanza de la física: una contribución para el aprendizaje significativo de la Física, con muchas cuestiones sin respuesta. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, vol. 9, nº 2, p. 283-309. Em <http://www.saum.uvigo.es/reec>.
- Maturana, H. R. (2001). *Ciência, cognição e vida cotidiana*. Belo Horizonte: Editora da UFMG.
- Moreira, M.A. (1999). *Teorias de aprendizagem*, Editora Pedagógica Universitária, São Paulo.

- Moreira, M.A. (2007). A física dos quarks e a epistemologia. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 29, n. 2. p. 161-173.
- Moreira, M.A. e Massoni, N.T. (2001). *Epistemologia do século XX*. Editora Pedagógica, São Paulo.
- Morrison, J.A.; Raab, F. and Ingram, D. (2009). Factors influencing elementary and secondary teachers' views on the nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 46, nº 4, p. 384-403.
- Pleitez, V. (2008). A física de partículas elementares e o Prêmio Nobel de Física 2008. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 30, n. 4, 4301.
- Popper, K. (1982). *Conjecturas e refutações*. Brasília: Ed. UNB.
- Renn, J. (2004). A física clássica de cabeça para baixo: como Einstein descobriu a teoria da relatividade especial. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, n. 27, n. 1, p. 27-36.
- Ryder, J. e Leach, J. (2008). Teaching about the epistemology of science in upper secondary schools: an analysis of teachers' classroom talk. *Science & Education*, vol. 17, nº 2-3, p. 289-315.
- Sandoval, J.S.; Cudmani, L.C. y Madozzo, M.J. (1995). Las concepciones epistemológicas de los docentes en la enseñanza de las ciencias fácticas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 17, n. 1, p. 55/61.
- Shibley, I.A. JR. (2003). Using newspapers to examine the nature of science. *Science & Education*, vol. 12, p.691-702.
- Silva, C.C. e Moura, B.A. (2008). A natureza da ciência por meio do estudo de episódios históricos: o caso da popularização da óptica newtoniana. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 30, n. 1, 1602.
- Silveira, F.L. e Medeiros, A. (2009). O paradoxo hidrostático de Galileu e a lei de Arquimedes. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 26, n. 2, p. 273-294.
- Silveira, F.L. e Peduzzi, L.O.Q. (2006). Três episódios de descoberta científica: da caricatura empirista a uma outra história. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, vol. 23, n. 1, p. 27-55.
- Solbes, J. e Traver, M. (2001). Resultados obtenido sintroduciendo historia de la ciencia em las clases de Física e Química: mejora de la imagen de la ciencia y desarrollo de actitudes positivas. *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (1) , p. 151-162.
- Solomon, J.; Duveen, J. and Scot, L. (1992). Teaching about the nature of science through history: action research in the classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 29, nº 4, p. 409-421.
- Taber, K.S.; Trafford, T. de; Quail, T. (2006). Conceptual resources for constructing the concepts of electricity: the role of models, analogies and imagination, *Physics Education*, v. 41, p. 155-160.
- Teixeira, E.S.; El-Hani, C.N. e Freire, O. Jr (2001). Concepções de estudantes de Física sobre a natureza da ciência e sua transformação por uma abordagem contextual de ensino de Ciências. *Revista da ABRAPEC*, vol.1, nº 3, p. 111.
- Toulmin, S. (1977). *Lac comprensión humana*. Madrid: Alianza Editorial.

**Neusa Teresinha Massoni,**

Doctora en Ciencias por el Programa de Pós-Graduação em Física, Instituto de Física de la Universidade Federal do Rio Grande do Sul;

Mestre y Licenciada en Física por la Universidade Federal do Rio Grande do Sul; volve a la Pesquisa en Ensino de Física;

Es Professora Adjunta del Instituto de Física de la Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.