

Epistemología e Historia de la Física en la Formación de los Profesores de Física

(Epistemology and history of physics in the preparation of physics teachers)

Julia Salinas de Sandoval y Leonor Colombo de Cudmani

Instituto de Física, FCEYT, Universidad Nacional de Tucumán Av. Independencia 1800, 4000 Tucumán, Argentina

Recebido em 25 de Novembro de 1992; revisão recebida em 23 de Julho de 1993

Aceito para publicação em 26 de Julho de 1993

Resumen

Se desarrolla con alguna profundidad diversas fundamentaciones sobre la conveniencia de incluir temas de Epistemología e Historia de la Física en la formación de los profesores de Física. Se describe algunas actividades de grado y de postgrado que se ha venido realizando en ese sentido. Los resultados favorables que se han obtenido parecen indicar la conveniencia de continuar desarrollando actividades de este tipo.

Abstract

Several arguments on the suitability of the inclusion of topics on epistemology and history of physics in the preparation of physics teachers are discussed with some detail. In addition, some undergraduate and graduate activities which are being carried out in this direction are described. Favorable research findings seem to suggest that the development of this kind of activity should continue.

*Cuál es el objeto de la Ciencia?
Que requisitos debe cumplir una
teoría que pretende describir la
naturaleza?. Estas cuestiones, aún
cuando excedan los límites de la
Física, están (intimamente
relacionadas con ella."
(Einstein e Infeld 1965),*

pectos: la formación en Epistemología e Historia de la Física de los profesores de Física.

En efecto, frente al bajo nivel de familiarización de los estudiantes con la Física, y frente al escaso aprendizaje significativo de conocimientos físicos que los alumnos evidencian, se ha venido reivindicando desde hace tiempo la necesidad de una más amplia y profunda formación epistemológica e histórica de los profesores de Física (Hodson 1988).

I. Introducción

Parece haber diversos factores que atentan contra una adecuada comprensión de la Física por parte de los estudiantes. Algunos de esos factores surgen de condiciones que escapan al control de la comunidad educativa involucrada. Pero otros podrían estar originados en la forma en que la ciencia es enseñada usualmente.

Entre estos últimos, la investigación educativa en ciencias ha identificado diversos aspectos interrelacionados que podrían estar influyendo. En este trabajo consideramos con alguna profundidad uno de esos as-

Algunos investigadores han señalado que muchos de los decepcionantes resultados obtenidos con algunas propuestas innovadoras en enseñanza de la Física, podrían atribuirse a una incorrecta comprensión de la naturaleza del trabajo científico, y a inadecuadas estrategias docentes derivadas de esas visiones (Gil 1983 y 1986).

Se ha señalado también que uno de los aspectos que dificultan el interés y la motivación de los estudiantes, es el divorcio aparente entre los modelos abstractos y matematizados de la Física y los comportamientos de

los fenómenos reales. Solo la Epistemología, con sus hipótesis acerca de cómo se construye el conocimiento físico, proporciona los fundamentos para salvar ese hiato (Bunge 1985, Cudmani y Salinas 1991). "Un profesor de Física con conocimientos en Epistemología e Historia de la Ciencia puede facilitar que los estudiantes comprendan cómo la Física captura, y no captura, el mundo real y subjetivo en que vivimos" (Matthews 1992).

Pero, aún cuando la naturaleza de la ciencia y del conocimiento científico ha venido siendo reevaluada activamente por la Epistemología de la Ciencia durante los últimos 30 años, y aún cuando la investigación educativa en ciencias ha venido incorporando cada vez en mayor medida esos aportes en la construcción de su cuerpo específico de conocimientos, los planes de estudio para futuros profesores de Física parecen haber permanecido al margen de tan importantes acontecimientos (Hodson 1986, Burbules y Linn 1991).

Las profundas críticas y reconstrucciones que los epistemólogos de la ciencia han realizado sobre las posturas tradicionales del positivismo, no parecen haber modificado ni el contenido, ni la orientación de las curricula de las instituciones formadoras de profesores de Física. Tampoco se observa la influencia de aspectos sobre los que existe claro consenso en la actual Epistemología de la Ciencia (Gil 1983, Cleminson 1990, Cohen 1992).

Las referencias a aspectos históricos suelen ser también escasas. Con ello, se oscurece la posibilidad de percibir a la Física como un proceso dinámico y no como un producto acabado, de mostrar sus relaciones con otras manifestaciones sociales, y comprender qué es la ciencia y qué papel juega en la sociedad (Gruender y Tobin 1991).

Por otra parte, el estudio de casos de la historia de la Física proporciona valiosas pistas para comprender las preconcepciones de los estudiantes, al poner en evidencia sus semejanzas con teorías que alguna vez la ciencia aceptó como válidas (Aikenhead 1992).

A pesar de la abundancia de literatura relacionada con las implicancias de la Epistemología y la Historia de la Física para la enseñanza de la disciplina, los profesores en general parecen haber elaborado una comprensión muy pobre de aspectos relacionados con la naturaleza de la labor y del conocimiento físicos.

Hay considerable evidencia de que entre los factores más importantes que determinan las actitudes hacia la Física y hacia su aprendizaje por parte de los estu-

diantes, está la imagen que el profesor posee, y transmite, de la disciplina. "Y si, como pareciera ser el caso, muchos profesores solo valoran los objetivos cognitivos y dejan librado al azar las actitudes y visiones sobre la naturaleza de la ciencia, entonces son las epistemologías implícitas del curriculum y del profesor, las que transmiten el mensaje de lo que la ciencia es" (Hodson 1988).

La investigación educativa en ciencias ha revelado que aunque muchos profesores creen que la Epistemología y la Historia de la Ciencia deberían ser componentes importantes de la instrucción que ellos imparten, ellos no tienen conocimientos suficientes para enseñar de ese modo (King 1991). En efecto, habitualmente se reconoce que los profesores no están adecuadamente preparados para enseñar esta Física contextualizada (Matthews 1992).

II. Aportes de la epistemología y la historia de la física en la labor cotidiana de los profesores

Existe consenso sobre que un profesor de Física debe conocer la asignatura que enseña. La formación en Epistemología y en Historia de la Física puede ser considerada como un aspecto de su formación general en Física. Las ideas que plantean epistemólogos como Popper, Bunge, Kuhn, Lakatos, Feyerabend, Bachelard, Piaget, Laudan, Hempel, ... , para citar solo a algunos, pueden ser de particular importancia para un docente que pretende favorecer aprendizajes significativos de la Física, pues pueden ayudarlo a comprender los modos en que la comunidad científica accede al conocimiento en ciencias fácticas y a su estructuración en saberes consensuados.

Las necesarias revisiones de diversas concepciones epistemológicas pueden servir de marco referencial a numerosas cuestiones docentes óiense, por ejemplo, en la notable incidencia que tiene la epistemología del docente sobre la estructuración e implementación de las prácticas de laboratorio, de las sesiones de introducción de conceptos, de las situaciones planteadas a los alumnos como problemas a ser resueltos, etc.). Estas revisiones pueden mostrar también que así como no hay una Física acabada, terminada, lista a ser transmitida como un dogma, tampoco hay una Epistemología de la Física con esas características, lo que no quita en absoluto valor a ambas disciplinas.

Una adecuada formación en Epistemología e Historia de la Física:

* favorece una comprensión más profunda de la disciplina, pues no es posible entender el contenido del conocimiento físico sin entender la naturaleza de ese conocimiento;

* ayuda a desentrañar, detrás de los criterios específicos empleados en diversos momentos y circunstancias, algunas pautas metodológicas científicas amplias y globales de elaboración, experimentación, explicación (Gruender y Tobin 1991);

* colabora en la comprensión de que la creación científica no es reducible meramente a un problema lógico, sino que es el resultado de un complejo proceso histórico, de la interacción con el medio social de cada época (Hamburger 1985);

* permite adquirir un entendimiento más rico y profundo sobre la estructura de la Física y sobre sus contenidos (Matthews 1992), y ganar claridad sobre los aspectos metodológicos, ontológicos, axiológicos, etc., de la labor y del conocimiento científicos (Bunge 1985);

* facilita que el profesor comprenda, profundice, organice y evalúe el conocimiento físico, y lo estimula para encarar la enseñanza con mayor profundidad y responsabilidad (Bunge 1980).

En síntesis, un profesor formado en Epistemología y en Historia de la Física podría obtener, entre otros, los siguientes beneficios en su labor diaria (Bunge 1980, Matthews 1992):

a) tomar conciencia de que su formación en Física, y su actividad docente, pueden estar pautadas por una filosofía incoherente y adoptada irreflexivamente;

b) transmitir una visión más realista y humana de la Física, y favorecer el aumento del interés y el compromiso de los estudiantes hacia la disciplina;

c) no confundir lo que se postula con lo que se deduce; la convención con el dato; la cosa con sus cualidades; el objeto con su conocimiento; la verdad con su criterio; etc.;

d) promover una mejor comprensión de los conceptos científicos en los estudiantes, al tener, por ejemplo, en claro los límites de validez y exactitud de los contextos sintácticos y sustanciales que les otorgan significado;

e) prevenir el dogmatismo en el conocimiento científico, incentivando la capacidad de análisis crítico de sus alumnos;

f) favorecer que los estudiantes comprendan la compleja naturaleza de la metodología científica y de la relación teoría realidad;

g) desplazar la atención del resultado al problema, de la receta a la explicación, de la ley empírica a la teórica;

h) hacer patente frente a los alumnos que el avance de la ciencia no es asimilable a un desarrollo meramente aditivo, y mostrarlo como un proceso en el que cada solución plantea nuevos problemas; en el que viejas hipótesis pueden cobrar nuevo interés, e hipótesis actuales pueden ser cuestionadas de raíz; en el que cada problema tiene varios niveles de solución; en el que nunca está dicha la última palabra;

i) favorecer, en síntesis, que en el aula, en el laboratorio, los alumnos construyan el conocimiento científico con una metodología acorde con la empleada por la comunidad científica.

III. Otros aportes de la epistemología y la historia de la física a la práctica docente

En general, la formación en Epistemología y en Historia de la Física puede ayudar a que los profesores actúen más reflexivamente respecto de su labor docente, y puede ser una eficaz forma de favorecer su incorporación a una tarea de innovación e investigación educativas.

Cada individuo (cada alumno, cada profesor) posee una epistemología propia, muchas veces implícita. Cuál es el marco de referencia con que los estudiantes asignan significados a las palabras y a los desarrollos del profesor?. Qué entiende cada cual por "dar una explicación", "identificar un problema", "enunciar una solución aceptable"? (Cobb et al. 1991).

Lo que se acepta o rechaza como un argumento depende de la epistemología que se sustente. Poseen los estudiantes el adecuado compromiso con una epistemología científica requerido para que puedan comprender y aplicar las teorías de la Física? (Hewson 1985).

Las reflexiones histórico-epistemológicas pueden ayudar a que los docentes hipoteticen sobre las posibles causas de algunos problemas enfrentados en la práctica docente.

Por ejemplo, el comportamiento rebelde de algunas concepciones intuitivas en mecánica, que reaparecen tenazmente luego de la instrucción. Entre la amplia bibliografía destinada a esta cuestión, se ha propuesto como hipótesis explicativa que las estrategias de enseñanza no tienen debidamente en cuenta la particular naturaleza de la Física newtoniana. Su especial relación con el mundo cotidiano y la observación. La ruptura que ella implica con una epistemología empiricista ingenua basada en el sentido común ... (Bachelard

1938). Y se ha propuesto estrategias docentes concretas para atender esas cuestiones (Gil y Carrascosa 1985; Hashweh 1986; Cudmani, Salinas y Pesa 1991).

El problema de las preconcepciones de los estudiantes aparece iluminado por una nueva luz cuando el profesor que reflexiona sobre ellas tiene una formación epistemológica e histórica. Las investigaciones educativas en esta área han puesto de manifiesto, en diversos campos de la Física, muchos paralelismos entre el conocimiento sobre la realidad que elaboran espontáneamente los individuos, y la evolución histórica de los modelos y teorías propuestos por la ciencia. Estos resultados avalan la hipótesis formulada en tal sentido, entre otros, por la epistemología genética (Piaget 1972). El profesor formado podría incorporarse a las investigaciones que analizan esos paralelismos en busca de pistas que permitan elaborar estrategias docentes que favorezcan la construcción de las conceptualizaciones científicas en los estudiantes. Cuanto menos, estaría en condiciones de comprenderlas, y de incorporar los resultados de la investigación a su práctica docente.

A través de este tipo de reflexiones, la Epistemología de la Física aparece modelando a la práctica docente. La mayor comprensión que se adquiere sobre la naturaleza de la ciencia y del conocimiento científico posibilita diseñar una enseñanza más motivadora y efectiva, "rompiendo con la inercia de una labor docente monótona y sin perspectivas, y aprovechando la enorme creatividad potencial de la actividad docente" (Gil 1990).

Un profesor con formación en Epistemología y en Historia de la Física tendrá más criterios, y podrá enfrentar con una visión más amplia y acorde con la metodología científica, algunas cuestiones complejas de la enseñanza, tales como el papel del laboratorio, la relación con la matemática, el significado y alcance de la evaluación, etc. (Hamburger 1985). Podrá avanzar en el diseño de actividades que alienten a los estudiantes a construir comprensiones científicas más completas y exactas (Burbules y Linn 1991). Tendrá elementos de juicio que lo orientarán en la selección y secuenciación de las tareas instruccionales, y en la elaboración e implementación de estrategias capaces de favorecer un aprendizaje significativo (Cudmani, Salinas y Pesa 1991; Duschl y Gitomer 1991).

En síntesis: el planteamiento del currículum puede ser orientado por la actual Epistemología de la Física, cuyas posturas muestran gran coherencia con la comprensión que se ha ganado en los últimos años sobre

como se aprende la ciencia (Cleminson 1990, Salinas 1991).

Una labor docente diseñada e implementada en el marco de una epistemología constructivista de la Física, facilitará la elaboración significativa de las estructuras conceptuales y metodológicas de la disciplina por parte de los estudiantes. Esta es la hipótesis que guía en la actualidad importantes líneas de investigación en enseñanza de la Física, en cuyos marcos teóricos se reúnen los resultados convergentes de la Epistemología, de la Historia, de la Psicología Cognitiva y de la Investigación Educativa en Ciencias.

A través de esta hipótesis, los modelos de aprendizaje de la ciencia, que constituyen otro importante aspecto a tener en cuenta en la formación de los profesores de Física, aparecen estrechamente vinculados a los modelos epistemológico-históricos del conocimiento científico.

La Epistemología y la Historia de la Física aparecen, en esta perspectiva, entre las áreas de conocimiento que podrían vertebrar un programa de formación de profesores de Física, por sus fuertes vinculaciones mutuas, con la Física, con la Psicología del Aprendizaje en Ciencias, y con la Investigación Educativa en Ciencias.

Pasaremos ahora a describir algunas de las actividades que hemos venido realizando en el campo de la Epistemología y la Historia de la Física en relación con la formación de profesores de Física.

IV. Experiencias realizadas en formación de profesores de Física en epistemología e historia de la física

En particular, haremos referencia a:

- * la inclusión de la materia "Elementos de Epistemología e Historia de la Física" en los planes de estudio de las carreras que se cursan en el Instituto de Física de la Universidad Nacional de Tucumán (Argentina). La materia está destinada a los alumnos del tercer año de las carreras de Bachillerato y Licenciatura en Física, muchos de los cuales se desempeñan, una vez graduados, como profesores de Física en los niveles medio y universitario;
- * la realización de cursos talleres de postgrado sobre Epistemología de la Física, en los que un elevado porcentaje de los participantes ha correspondido a profesores de Física de ciclos básicos universitarios;
- * la implementación de cursos-talleres de formación y actualización, destinados a profesores de Física de

los niveles medio y universitario básico, en los que se atendió explícitamente a problemáticas de corte epistemológico que surgen en el proceso de enseñanza y aprendizaje de la disciplina.

IV.1. La inclusión de una introducción a la Epistemología y a la Historia de la Física en las carreras de futuros profesores de Física

La asignatura se estructuró integrando ambas áreas, ejemplificando las fundamentaciones epistemológicas de la disciplina por medio del análisis del desarrollo histórico de sus estructuras conceptuales y sintácticas. Coincidimos con Lakatos (1985) en que "una filosofía de la ciencia sin historia de la ciencia es vacía; una historia de la ciencia sin filosofía de la ciencia es ciega".

El curso comienza con las preguntas: "¿Qué es la ciencia? ¿Qué es la Epistemología de la Ciencia?". Ello permite arrojar sobre la mesa una gran cantidad de interrogantes que se retoman a lo largo del curso, cuyas respuestas en general se van enriqueciendo a medida que se avanza, y que a su vez suelen generar nuevos cuestionamientos, poniendo de manifiesto una de las características del genuino conocimiento.

La discusión se orienta hacia las características, diferencias y similitudes entre el conocimiento común y el conocimiento científico. Es posible así, desde el mismo inicio del curso, advertir, cada vez con más elementos de juicio, que a la construcción del conocimiento científico no se llega a partir de la aplicación de asepticos criterios lógicos; o de la generalización de los datos obtenidos con una supuesta observación neutral y objetiva de los comportamientos naturales; o de las evidencias del sentido común ...

El análisis de la diferencia entre el conocimiento científico de las ciencias formales y de las ciencias fácticas, que se aborda a continuación, pretende clarificar la relación entre la Matemática y la Física, el papel de los formalismos lógico-matemáticos en la construcción del conocimiento científico fáctico, etc., saliendo al cruce de una visión excesivamente axiomatizada y matematizada de la Física, e insistiendo en que el rigor cuantitativo requiere imprescindiblemente del rigor cualitativo, conceptual, para llenar de significado una forma que de otro modo está vacía de contenido fáctico.

En este momento es posible enfocar el estudio directamente sobre la Física. A los fines de organizar el análisis, se diferencian artificialmente dos estructuras, la sustancial y la sintáctica, "hueso, músculo y

carne" de la disciplina. La primera es la red de contenidos (conceptos, definiciones, hipótesis, supuestos, principios, leyes, modelos, teorías...). La segunda se refiere a los modos en que datos y conclusiones, predicciones y observaciones, se vinculan entre sí en la construcción del saber de la disciplina; incluye, por tanto, el problema de la metodología científica, del papel de la experimentación, etc..

El análisis de los elementos constitutivos de la estructura sustancial, permite discutir la relación entre los elementos celulares (los conceptos) y las estructuras más complejas (las teorías), resaltando el carácter sistémico del conocimiento científico, analizando la relación entre las concepciones y la realidad, poniendo en evidencia el carácter hipotético y perfectible de las construcciones de la Física, reconociendo los alcances y limitaciones de la explicación científica, sopesando el papel de las definiciones operacionales, estructurando los tipos de enunciados englobados comúnmente bajo el nombre de "leyes" y/o "principios", etc..

El análisis de los elementos constitutivos de la estructura sintáctica conduce a analizar las sintaxis de prueba y de descubrimiento, a reflexionar sobre la incidencia de elementos extracientíficos (prejuicios, cosmovisiones, ideologías) en el quehacer científico, a considerar los criterios de verdad y de contrastación, a discutir el papel de la inducción y de la deducción, a reconocer el carácter eminentemente colectivo de la construcción del saber científico, etc..

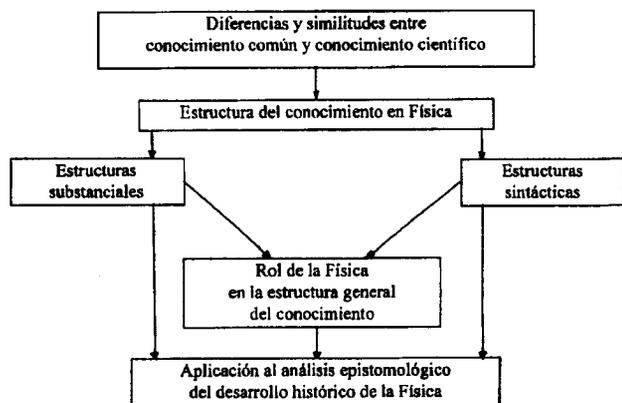
Todo este análisis de las estructuras sustanciales y sintácticas se articula alrededor de permanentes ejemplificaciones sacadas de la Física, lo que permite insistir sobre la vital interdependencia existente entre ambas estructuras en la construcción del conocimiento científico.

En la siguiente etapa se estudia como se inserta la Física en la estructura general del conocimiento, lo que permite reencontrar la discusión sobre las características distintivas del conocimiento de las ciencias fácticas y sobre las relaciones con la Matemática, incorporando además el análisis de la relación con la Filosofía. Se rescata como síntesis la profunda complementariedad entre Física y Matemática, entre Física y Filosofía, lo que sin duda enriquece notablemente a la Física, pero que no debe llevar a confundir los campos de validez o la índole del conocimiento alcanzado por cada una de estas disciplinas.

La segunda parte de la materia está destinada a una revisión sistemática del desarrollo histórico de la Física.

Como ya se señaló, este estudio no se plantea como el mero relato cronológico de los sucesivos personajes y sus aportes significativos, sino como el análisis epistemológico de la construcción conceptual y metodológica, experimental y teórica, cualitativa y cuantitativa, ... , de la disciplina. Tal tipo de análisis permite reflexionar sobre los cambios conceptuales, epistemológicos y actitudinales que ha sufrido la Física a lo largo de su desarrollo histórico, desde una perspectiva que enriquece su comprensión.

El cuadro resume la estructuración dada al contenido de la materia:



Consideraremos ahora las metodologías didácticas en pleadas en esta materia.

Los alumnos se organizan en grupos de 3 o 4 integrantes.

La primera parte, centrada en la Epistemología de la Física, se desarrolla en forma de reuniones grupales coordinadas por los docentes, en las que se discute material que ha sido elaborado previamente a la reunión por los grupos de alumnos. Para la preparación de las sesiones se utilizan guías, en las que se plantean cuestiones que requieren de una labor previa de discusión y negociación en cada grupo para consensuar una/s respuesta/s por parte de los alumnos; en esas guías se sugiere bibliografía pertinente, y se incentiva a los estudiantes a la búsqueda de otros materiales de consulta.

La cátedra dispone de una biblioteca con textos de Física, de Epistemología y de Historia de la Ciencia, que está a disposición de los estudiantes, y que se ha ido completando a lo largo de los años con donaciones hechas por los mismos alumnos.

La segunda parte, en que se realiza un análisis epistemológico sobre aspectos de la Historia de la Física, se organiza por medio de seminarios en los que cada grupo de estudiantes selecciona un área de la Física cuyo de-

sarrollo (desde los orígenes hasta la actualidad) le interesa, prepara una síntesis, y la expone ante el grupo total. En general, las áreas contempladas para este análisis comprenden Mecánica; Calor, Termodinámica y Física Estadística; Óptica, Espectroscopía, Electricidad y Magnetismo; Estado sólido; Partículas Elementales y Astrofísica. Se estudia la historia del conocimiento físico, empleándola en buena medida como una ejemplificación de cuestiones analizadas en la primera parte, deteniéndose en la génesis y transformación de conceptualizaciones y teorías, y en sus fundamentos epistemológicos. Los docentes coordinan la discusión y colaboran en la síntesis.

Además, a lo largo del desarrollo de la materia los grupos de alumnos deben resolver, y presentar a los docentes, las respuestas que proponen a cuestiones planteadas en Trabajos Prácticos que requieren de un cierto manejo autónomo de aspectos tratados en las sesiones de trabajo colectivo.

Para evaluar el rendimiento de los alumnos se tiene en cuenta el desempeño en las clases de discusión grupal, la presentación de los Trabajos Prácticos, la profundidad y coherencia lograda en el análisis histórico en los seminarios, el rendimiento en las evaluaciones parciales (individuales, por escrito y a libro abierto), la presentación de una monografía individual sobre una problemática de índole epistemológica relacionada con la Física (elegida libremente por el alumno, y aceptada por los docentes), y el rendimiento en el examen final (individual, escrito y a libro abierto).

La evaluación de la tarea docente es también continua, a través de la interacción permanente, la observación y la crítica mutua de los desempeños de los profesores que intervienen (usualmente dos, a veces tres). Además, la última clase se destina a una discusión grupal entre los docentes y los alumnos, en la que se analiza retrospectivamente a la materia, sus contenidos y las metodologías de trabajo y evaluación.

IV.2. Los cursos-talleres de post-gradó sobre Epistemología de la Física

La estructura de los contenidos y la metodología de trabajo y de evaluación son análogas a las de la primera parte de la materia "Elementos de Epistemología e Historia de la Física", pero la bibliografía se amplía, las actividades requieren de una comprensión más profunda, y las ejemplificaciones se seleccionan de modo de abarcar los casos históricos considerados más significativos.

IV.3. Los cursos-talleres de formación y actualización destinados a profesores de los niveles medio y universitario básico

En ellos se encara el tratamiento de situaciones problemáticas teórico prácticas, e incluyen dos tipos de planificaciones:

a) por una parte, talleres cuya temática gira alrededor de una problemática esencialmente epistemológica (por ejemplo, la relación entre teoría y realidad en el conocimiento científico), y en los que el contenido específico de la Física se introduce como ejemplificación:

b) por otra parte, talleres cuya temática gira alrededor de una problemática esencialmente física (por ejemplo, los fenómenos oscilatorios mecánicos y electromagnéticos), y en los que la reflexión epistemológica se introduce paralelamente al desarrollo de los contenidos científicos.

Por supuesto, el contenido específico tratado en cada taller incide sobre las planificaciones concretas de cada uno. Pero los mencionamos agrupados porque comparten objetivos importantes y tienen metodologías de trabajo similares.

Los objetivos comunes están relacionados con la búsqueda de una comprensión más profunda de la ciencia y del conocimiento científico mediante un tratamiento simultáneo de los aspectos físicos y epistemológicos del tema.

Por ejemplo, en el taller centrado en la relación entre teoría y realidad en el conocimiento científico, una de las actividades experimentales solicita el cálculo de la velocidad instantánea en un punto de la trayectoria de un cuerpo en caída libre. Qué significado físico podemos atribuir a una derivada?. Como se puede alcanzar experimentalmente la condición teórica de incrementos espacio temporales infinitesimales?. En síntesis, qué correlato fáctico tiene el concepto de velocidad instantánea?.

Recíprocamente, en el taller centrado en los fenómenos oscilatorios mecánicos y electromagnéticos, las actividades que guían la construcción de las teorías físicas pertinentes introducen permanentemente interrogantes de índole epistemológica: cuáles son los supuestos del modelo teórico que se está empleando?. se controlan esos supuestos, o solo interesa controlar las predicciones?. qué alcance tienen nuestros controles para la validación de las hipótesis consideradas?. etc..

En cuanto a la metodología de trabajo compartida por estos talleres, básicamente se trata de favorecer un

trabajo colectivo, guiado por los docentes que los coordinan. Los participantes se distribuyen en grupos pequeños, que organizan su trabajo con un mismo programa de actividades (Driver y Oldham 1986) propuesto a todos los participantes.

Cada actividad es realizada por los grupos pequeños, que trabajan en paralelo bajo la orientación de los coordinadores. Los aportes así elaborados son volcados a permanentes puestas en común, en las que colectivamente se toman decisiones, se construyen síntesis, se clarifica y orienta el desarrollo de la tarea, etc. (Gil 1990).

La evaluación formativa es incorporada como parte integrante de la labor; como una herramienta que permite mejorar los aprendizajes, controlar la marcha de las actividades y realizar rectificaciones y modificaciones en el trabajo de los participantes y de los coordinadores, en el desarrollo del taller, en el cronograma, etc. (Cudmani et al. 1986).

La evaluación sumativa final del aprovechamiento logrado por los participantes es individual, escrita, y a libro abierto; elaboramos los ítems de evaluación como el planteo de situaciones problemáticas que requieren para su tratamiento de un cierto manejo autónomo de las cuestiones físicas y epistemológicas tratadas en el taller.

Los participantes responden además por escrito (en forma anónima o personalizada, a elección) un cuestionario evaluador del taller (planificación, clima del aula, desempeño de los coordinadores, pertinencia del taller para su formación y desempeño profesionales, etc.).

IV.4. Comentarios

En todas las estrategias evaluadoras usadas en los distintos cursos y talleres, se pone de manifiesto que los participantes en general alcanzan una mejor y mayor comprensión de la materia (la Física y sus teorías).

En elevados porcentajes, rescatan el valor y la importancia que tienen, en la solución científica de problemas, cuestiones tales como:

- límites de validez de leyes y teorías (cuando, y por que, pasar en óptica del modelo de rayo al modelo de onda monocromática, o de este al de paquete de ondas?);
- relaciones epistemológicas (y no meramente lógicas) entre teorías y modelos, y entre modelos y campos fácticos de aplicación (cuales son los criterios con que puede controlarse la adecuación de una dada concepción a una situación real?);

- estrecha dependencia entre los significados de los términos y los contextos en que éstos se insertan (es el concepto de masa el mismo en mecánica newtoniana y en mecánica relativista?);

- naturaleza analítica o sintética de una dada proposición según el contexto en que se encuadra la solución del problema (es la relación $\vec{F} = \vec{q}\vec{v} \times \vec{B}$ una definición de \vec{B} ?);

- diferentes tipos de leyes y sus características similares y distintivas (a que leyes nos referimos cuando decimos que son invariantes frente a un cambio en el sistema de referencia?); y la enumeración podría continuar.

Pocas (o ninguna) de estas cuestiones suelen quedar claras cuando se aprende Física con estrategias tradicionales que ignoran la consideración de aspectos epistemológicos.

En todos los casos mencionados (asignatura en el plan de estudio de futuros Bachilleres y Licenciados en Física; cursos talleres de postgrado; y de formación y actualización), las actividades se organizan de modo de favorecer un clima de trabajo distendido y respetuoso de las opiniones divergentes.

La motivación y el interés de los participantes se alienta mediante la presentación de situaciones que consideramos pertinentes para la labor docente y/o para el desarrollo profesional, y mediante una negociación colectiva de los temas a tratar y de las normas de trabajo.

En general, el grado de compromiso alcanzado por los participantes es elevado, lo que se pone especialmente de manifiesto en el esfuerzo que dedican a la elaboración de las monografías que se piden en "Elementos de Epistemología e Historia de la Física" y en los cursos talleres de postgrado.

Ya sean estudiantes que se plantean la docencia como salida laboral, o profesores en ejercicio de su profesión, la amplísima mayoría de los participantes en estas actividades de formación reconocen la importancia de la profundización en cuestiones epistemológicas históricas como requisito para una enseñanza eficiente de la Física, para motivarlos, y para motivar a sus alumnos.

La experiencia recogida pareciera indicar la conveniencia de continuar desarrollando actividades de este tipo, en marcadas en modelos constructivistas para la investigación y el conocimiento científicos, y para el proceso de aprendizaje de la ciencia (Pesa, Cudmani y Salinas 1992).

V. Conclusiones

Existen numerosos resultados de investigaciones realizadas en enseñanza de la Física que parecen mostrar la conveniencia, por no hablar de necesidad, de incorporar a la Epistemología y a la Historia de la Física en los planes de formación de profesores de Física. En este trabajo hemos pasado revista a algunos de ellos.

También hemos desarrollado con alguna amplitud los importantes aportes que estas áreas de conocimiento pueden realizar para la labor docente cotidiana, y hemos mostrado su potencialidad para ayudar a comprender algunos problemas de aprendizaje críticos enfrentados en las aulas y laboratorios.

Consideramos que la Epistemología y la Historia de la Física, por sus fuertes relaciones mutuas y con la Física, la Psicología Cognitiva y la Investigación Educativa en Ciencias, podrían estar entre los ejes vertebradores en las curricula de los profesados de Física. Una comprensión profunda de la naturaleza de la metodología y del conocimiento científicos parece ser capaz de orientar eficazmente el aprendizaje y la enseñanza de la disciplina.

Hemos informado también sobre experiencias que hemos realizado en formación en Epistemología y en Historia de la Física con estudiantes del Bachillerato y la Licenciatura en Física y con profesores en ejercicio en los niveles medio y universitario.

Los resultados obtenidos en estas experiencias, parecen mostrar que el hecho de volver sobre una reflexión profunda acerca de los fundamentos, características, alcances y limitaciones de las estructuras conceptuales y metodológicas de la disciplina, puede ayudar a superar las limitaciones de una preparación en Física estructurada muchas veces como una "retórica de conclusiones" que hipertrofia los formalismos y los vacía de significado físico, y puede brindar valiosos elementos de juicio para encarar la práctica docente con mayores índices de motivación, creatividad, efectividad, y acuerdo con la naturaleza de la labor científica.

Referencias bibliográficas

- AIKENHEAD G.S., 1992, How to teach the Epistemology and Sociology of Science in a Historical Context, Proceedings of the Second International Conference on History and Philosophy of Science in Science Teaching (11 al 15 de mayo de 1992, Toronto, Ontario, Canadá), Vol I, pág. 23-43.

- BACHELARD, G., 1938, "La formación de l'esprit scientifique" (J. Vrin: Paris).
- BUNGE, M., 1980, "La Ciencia, su método y su filosofía" (Ed. Siglo XX: Buenos Aires).
- BUNGE, M., 1985, "La investigación científica" (Ed. Ariel: Barcelona).
- BURBULES, N.C., LINN M.C., 1991, Science Education and Philosophy of Science: congruence or contradiction?, *Int. Jour. Sci. Edu.*, **13**(3), pág. 227-241.
- CLEMINSON, A., 1990, Establishing an epistemological base for science teaching in the light of contemporary notions of the nature of science and of how children learn science, *Jour. of Research in Science Teaching*, **27**(5), pág. 429-445.
- COBB, P., WOOD, T., YACKEL, E., 1991, Analogies from the Philosophy and Sociology of Science for understanding classroom life, *Science Educación*, **75**(1), pág. 23-44.
- COHEN, A., 1992, A history of the development of the notion of "quanta" in physics and its implications for science education, Proceedings of the Second International Conference on History and Philosophy of Science in Science Teaching (11 al 15 de mayo de 1992, Toronto, Ontario, Canadá), Vol I, pág. 187-200.
- CUDMANI, L.C. de, PESA de DANON, M., SALINAS de SANDOVAL, J., 1986, La realimentación en la evaluación de un curso de laboratorio de Física, *Enseñanza de las Ciencias*, **4**(2), pág. 122-128.
- CUDMANI, L. C. de, SALINAS de SANDOVAL, J., 1991, Modelo físico e realidade. Importância epistemológica de sua adequação quantitativa. Implicações para a aprendizagem, *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, **8**(3), pág. 181-192.
- CUDMANI, L. C. de, SALINAS de SANDOVAL, J., PESA de DANON, M., 1991, La generación autónoma de "conflictos cognitivos" para favorecer cambios de paradigmas en el aprendizaje de la Física, *Enseñanza de las Ciencias*, **9**(1), pág. 237-242.
- DRIVER, R., OLDHAM, V., 1986, A constructivist approach to curriculum development in science, *Studies in Science Education*, **13**, pág. 105-122.
- DUSCHL, R., GITOMER, D., 1991, Epistemological perspectives on conceptual change: implications for educational practice, *Jour. of Research in Science Teaching*, **28**(9), pág. 839-858.
- EINSTEIN, A., INFELD, L., 1965, "La Física, aventura del pensamiento" (Ed. Losada: Buenos Aires).
- GIL, D., 1983, Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, **1**(1), pág. 26-33.
- GIL, D., 1986, La metodología científica y la enseñanza de las ciencias: unas relaciones controvertidas, *Enseñanza de las Ciencias*, **4**(2), pág. 111-121.
- GIL, D., 1990, Por una autoformación permanente efectiva, en "La Formación de Formadores en Didáctica de las Ciencias" (NAU Llibres: Valencia).
- GIL, D., CARRASCOSA, J., 1985, Science learning and methodological change, *Eur. Jour. Sci. Edu.*, **7**(3), pág. 231-236.
- GRUENDER, C.D., TOBIN, K.G., 1991, Promise and Prospect, *Science Education*, **75**(1), pág. 18.
- HAMBURGER, A.I., 1985, Por que Historia e Filosofia da Física no Ensino da Física?, contribución a la Mesa Redonda "Problemas Críticos da Ensino da Física", VI Simposio de Ensino da Física, Sociedade Brasileira de Física, Niterói, enero de 1985,
- HASHWEH, M.Z., 1986, Towards an explanation of conceptual change, *Eur. Jour. Sci. Edu.*, **8**(3), pág. 229-249.
- HEWSON, P.W., 1985, Epistemological commitments in the learning of science: examples from dynamics, *Eur. Jour. Sci. Edu.*, **7**(2), pág. 163-172.
- HODSON, D., 1986, Philosophy of Science and science education, *Journal of Philosophy of Education*, **20**(2).

- HODSON, D., 1988, Toward a philosophically more valid science curriculum, *Science Education*, 72(1), pág. 1940.
- KING, B., 1991, Beginning teachers' knowledge of and attitudes toward History and Philosophy of Science, *Science Education*, 75(1), pág. 135-141.
- LAKATOS, I., 1985, "La historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales", en "Revoluciones científicas", compilación de I. Hacking (Fondo de Cultura Económica: México).
- LOVING, C.C., 1992, From constructive realism to deconstructive antirealism: helping science teachers find a balanced philosophy of science, *Proceedings of the Second International Conference on History and Philosophy of Science in Science Teaching* (11 al 15 de mayo de 1992, Toronto, Ontario, Canadá), Vol II, pág. 45-70.
- MATTHEWS, M.R., 1992, History, philosophy and science teaching: the present rapprochement, *Science and Education*, 1, pág. 11-47.
- PESA de DANON, M., CUDMANI, L.C. de, SALINAS de SANDOVAL, J., 1992, Los talleres de actualización y formación de profesores, enviado para su publicación en *Revista de Ensino de Física*,
- PIAGET, J., 1972, "Psicología y Epistemología" (Emece Editores: Buenos Aires).
- SALINAS de SANDOVAL, J., 1991, La unidad de método y contenido en la construcción social y en el aprendizaje de la Física, memorias de la Séptima Reunión Nacional de Educación en la Física (Mendoza, Argentina, setiembre de 1991), pág.