

## Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades

*María Mercedes Ayala M.\**

Resumen: Se discute la problemática de la formación en física de los profesores de física. Se plantean supuestos y exigencias que se derivan de una aproximación a la física desde un “punto de vista disciplinar”, en el que la imagen de ciencia que se hace viable no antagoniza con la imagen de conocimiento y quehacer científico implicados en los enfoques contemporáneos de la historia de las ciencias. Se presenta y caracteriza el tipo de análisis histórico crítico desarrollado con el fin de orientar los procesos de recontextualización de saberes para la formación en física de los profesores de física. Se recogen de esta manera indagaciones llevadas a cabo y propuestas que se vienen configurando en un proceso de casi dos décadas en el Departamento de Física de la Universidad Pedagógica Nacional de Colombia.

Palabras-claves: Formación de profesores de ciencias; recontextualización de saberes científicos; historia y epistemología de las ciencias; enseñanza de la física.

Abstract: Some issues involved in the formation of physics teachers are analyzed in this article, with a discussion about assumptions and requirements derived from an approach to physics from a “disciplinary” point of view, in that the image of science conveyed does not oppose to the image of knowledge and scientific activity raised by contemporary approaches to the history of science. We present and characterize the kind of historical-critical analysis developed, aimed at guiding the knowledge re-contextualization processes for the disciplinary formation of physics teachers. This way, data have been collected after a survey that was carried out, as well as some proposals that have come configuring in a process for almost two decades at the Physics Department of the Universidad Pedagógica Nacional at Bogotá, Colombia.

Key words: Science teacher formation; scientific knowledge re-contextualization; history and epistemology of science; physics teaching.

### Introducción

Los desarrollos investigativos de las últimas tres décadas en el campo de la enseñanza de las ciencias han puesto de manifiesto la complejidad de la problemá-

---

\* Grupo Física y Cultura, Profesora Depto. de Física da Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá. maria\_m\_ayala@etb.net.co

tica involucrada, que se evidencia en los variados aspectos que deben ser abordados para su comprensión e investigación: análisis histórico, epistemológico y sociológico de las disciplinas científicas; análisis de los procesos cognitivos y comunicativos en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias; análisis de los procesos y dinámicas culturales involucrados en la difusión, apropiación y reconstrucción de los saberes científicos, etc.

Esta forma de entender la problemática de la enseñanza de las ciencias, ha establecido nuevas demandas en la formación de los docentes de ciencias. Es así como en los últimos tiempos, la didáctica de las ciencias se ha enriquecido con una serie de aspectos anteriormente omitidos y la historia de las ciencias, en particular, ha cobrado un especial reconocimiento en el ámbito de la formación de profesores de ciencias así como en el de la enseñanza de las ciencias.

En el ámbito de la formación de maestros de ciencias, se ha visto la historia y filosofía de las ciencias como una forma de incidir sobre la imagen que de la ciencia tienen los maestros, dado el importante papel que ésta juega en la orientación de su labor pedagógica. Se enfatiza, cada vez más, en enfoques que ponen presente el carácter constructivo del conocimiento científico y su historicidad, presentando la actividad científica ligada a los contextos en los que se realiza y respondiendo a las exigencias e intereses generados en esos contextos específicos (contextos intelectuales, sociales, políticos etc.)

Pero también la historia se ha planteado como un *recurso* para el trabajo del maestro de ciencias, en cuyo uso debe ser formado, y a la que se puede acudir con diferentes propósitos y, por ende, examinar desde diferentes planos: desde el plano de la motivación y de la caracterización de la “naturaleza” del conocimiento científico; pasando por el plano del rescate de argumentos para mostrar la ciencia como una actividad donde juega la razón; al plano de estrategia didáctica, en la medida en que el establecimiento de paralelos entre el desarrollo científico y el desarrollo del conocimiento individual permite derivar elementos para el diseño de actividades en el aula, tendientes ya sea a posibilitar la implementación del enfoque constructivista o a facilitar la comprensión y uso de un concepto, de una ley o de una teoría.

No obstante, los cursos de ciencias a través de los cuales los maestros aprenden los contenidos disciplinares han sufrido muy poca transformación. Es así como, en la actualidad, el profesor de ciencias se ve abocado en su formación a dos tipos de aproximaciones a las ciencias contradictorias entre sí: una formal y aproblemática, a través de la cual aprende los contenidos científicos, y otra en la que las discusiones históricas y epistemológicas sobre la ciencia permite la reflexión sobre el quehacer y el conocimiento científico.

Al respecto surgen, pues, los siguientes interrogantes: ¿Cuál de las dos aproximaciones entra en juego en las prácticas concretas de enseñanza de las

ciencias? máxime si se tiene en cuenta que usualmente la forma como el profesor de ciencias aprende el saber disciplinar constituye para él el principal referente o modelo de enseñanza a nivel práctico ¿Esta aproximación formal y aproblemática es, acaso, necesario o inevitable? ¿No es esta aproximación un gran obstáculo en la generación de nuevos sentidos culturales a la enseñanza de las ciencias, que sean una respuesta más apropiada a la problemática que se vive en nuestros países?

Generalmente se asume que esta doble aproximación es necesaria para la formación de un físico o de un profesor de física, bajo el presupuesto de que se requiere primero conocer lo que va a ser objeto de análisis y crítica:

El sistema de enseñanza a través de libros de texto comporta como lo ha señalado Thomas Kuhn, ciertos dogmatismos de base. Para dominar el paradigma, como para socializarse en una cultura, es necesario, en un primer momento, deponer la crítica. Los conceptos y los principios no se discuten. Se aceptan y se hacen operativos. Sólo cuando se ha logrado un dominio de todo el sistema es posible comenzar pensarlo críticamente. La historia de las ciencias y, en particular, el estudio de los textos originales pueden entonces apoyar esta tarea (GRANÉS; CAICEDO, 1997, P.72-73).

El presente trabajo, que se inscribe en el marco de interrogantes e inquietudes anteriormente expuestos, sustenta y elabora una posición contraria a ésta. Se recoge en él indagaciones llevadas a cabo y propuestas que se vienen configurando en un proceso de casi dos décadas en el Departamento de Física de la Universidad Pedagógica Nacional de Colombia y desarrolladas por el Grupo Física y Cultura. En primer lugar, se muestran rasgos de la problemática de la formación en física de los profesores de física, definiendo así el contexto de significación del escrito. En segundo lugar se plantean supuestos y exigencias que se derivan de una nueva aproximación a la física desde un “punto de vista disciplinar” en la que la imagen de ciencia que se hace viable no antagoniza con la imagen de conocimiento y quehacer científico implicada en los enfoques contemporáneos de la historia de las ciencias; y se presenta y caracteriza el tipo de análisis histórico críticos desarrollado con el fin de orientar los procesos de recontextualización de saberes para la formación en física de los profesores de física en este sentido.

La formación en Física en la formación de profesores de Física: un asunto polémico

Las propuestas y prácticas de formación de profesores de ciencias se mueven principalmente en medio de dos campos de tensiones que están íntimamente ligados entre sí. Uno de ellos está definido por la doble exigencia que se le hace al

profesor de ciencias de tener una buena formación tanto en la disciplina que va a enseñar, en física por ejemplo, como en pedagogía. El otro, se enmarca en ese espacio definido por los múltiples significados que se le puede dar a esa exigencia obvia de tener “un buen conocimiento o una buena formación en física”, o en la ciencia que ha de enseñar.

En el primer campo se inscriben las polémicas en torno a las dicotomías formación-instrucción, educabilidad-enseñabilidad, pedagogía-didáctica, considerándose, generalmente, que la formación en ciencias es ante todo una formación técnico-instrumental y que el maestro debe tener una formación adicional, la pedagógica, que le permita entender y darle un sentido a su labor así como desarrollarla adecuadamente. Más aún, se espera que a través de la componente pedagógica, el futuro maestro pueda poner de relieve el carácter formativo involucrado en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias y, en consecuencia, tomar conciencia tanto de la doble dimensión de su labor – “de circulación del conocimiento científico y de su apropiación como experiencia formativa” (IBARRA, 2004) – como de sus finalidades.

Los desarrollos de la investigación en la enseñanza de las ciencias en los últimos treinta años y el auge de las posturas constructivistas han hecho transformar considerablemente la componente de pedagogía de la formación de los maestros de ciencias. El reconocimiento de las diferencias entre enseñar y aprender han puesto en primer plano los aspectos culturales, comunicativos y cognitivos y se ha visto necesario abordar toda una serie de aspectos que anteriormente se omitían. Se ha visto incluir también la historia y filosofía de las ciencias en los currículos de formación de docentes ya sea como un espacio curricular independiente o como un aspecto que debe trabajarse en las asignaturas de didáctica de las ciencias. En fin, se puede afirmar que la nueva visión de la problemática de la enseñanza de las ciencias ha generado condiciones para enriquecer de manera significativa la componente pedagógica de la formación de docentes de ciencias.

Pero, mientras esto ocurre en la componente pedagógica, la formación en ciencias como tal y en particular en física de los profesores de física se resiste a transformarse. El hecho de que los “contenidos” a enseñar no varíen sustancialmente en los cursos de física que deben tomar, a pesar de la dinámica creciente de producción de conocimiento, pone de presente la magnitud de tal resistencia. Al parecer la concepción muy generalizada de que la física es el corpus organizado de los conceptos, leyes, teorías, métodos, técnicas, procedimientos y aplicaciones – productos de la actividad científica- que se han venido generando en su devenir histórico y de que la enseñanza de la física debe centrarse en su asimilación y uso adecuado es el principal obstáculo.

Afirmaciones como las siguientes resultan ser ilustrativas, sobretodo si se tiene en cuenta que desde esa postura se insiste en evaluar los programas de formación de docentes de física:

¿Qué es la física? – La física es la ciencia que estudia la naturaleza, buscando la comprensión científica de los fenómenos naturales. La física consta del conjunto de conocimientos acumulados sobre la naturaleza, de la actividad de hacer física y también de las aplicaciones de la física. Los conocimientos acumulados de la física se expresan matemáticamente; la actividad de hacer física tiene una esencia muy rigurosa (acorde) con la formulación matemática y el experimento... El experimento es el juez único de la física: Todo conocimiento válido debe ser comprobado, validado por el experimento. Toda cuestión que formulamos sobre la naturaleza, todo conocimiento, toda afirmación, bien sea principio, ley, teoría, debe ser comprobable y comprobado por el experimento, algo estrictamente objetivo, de validez universal, reproducible en todo lugar y en todo tiempo. Todo nuevo conocimiento válido, se integra al saber acumulado, y se hace matemáticamente, siendo consistente el conjunto de conocimientos científicos acumulados sobre la naturaleza... El docente de la física, para desempeñarse como maestro de física, o para investigar acerca de la docencia misma de la física, debe apropiarse de esta disciplina, de manera rigurosa. El saber no puede estar ausente en la docencia de ese saber (ROJAS; GÓMEZ, 1999, p.1)<sup>1</sup>.

Lo cierto es que hoy después de más de 20 años de iniciado el proceso de consolidación de la enseñanza de la física como un campo de investigación es poco lo que se ha avanzado en las prácticas concretas de enseñanza de esta disciplina en el nivel universitario en torno a la pregunta sobre *qué es saber física*; pregunta que a su vez está íntimamente ligada a otra: *qué es la física*.

Sin embargo en el campo investigativo, si bien no se da cuenta de ellas a cabalidad, las dificultades que se perciben y suelen destacar en torno al desempeño de los estudiantes en los cursos de física terminan siendo una forma indirecta y parcial de responder estas preguntas, en cuanto ponen de manifiesto el tipo de expectativas que se tienen respecto al manejo adecuado de la física.

En la mayoría de los casos se considera que la gran dificultad en la enseñanza

---

1. De esta manera los pares evaluadores del programa de Maestría en Docencia de la Física de la Universidad Pedagógica Nacional de Colombia (Darío Rojas, Dr. rer. nat., Departamento de Física, Universidad Nacional de Colombia y Bernardo Gómez, Dr. rer. nat., Departamento de Física, Universidad de los Andes) exponían su concepción de física con el fin de explicitar los referentes que utilizaron para analizar y evaluar la orientación del programa. Tal tipo de posturas sostenidas por quienes se les ha otorgado formalmente el derecho de conceptuar sobre la calidad de los programas de formación de docentes se constituye en un obstáculo para la consolidación de propuestas alternativas para la enseñanza de la física.

de la física está en que la comprensión lograda por los estudiantes de los conceptos, leyes o teorías que se enseñan no les permiten ya sea solucionar correctamente los ejercicios planteados en los textos o por el profesor (GIL PEREZ et al., 1988), o dar cuenta de los fenómenos que están inscritos en el dominio fenomenológico de la teoría (MOREIRA et al., 1988). A este respecto el trabajo realizado por el grupo de Educación en Física de la Universidad de Washington resulta muy significativo, por la trayectoria y grado de sistematización logrado, por su cercanía al imaginario que sustenta las formas tradicionales de enseñanza de la física y por las innovaciones significativas que propone. Así, las indagaciones llevadas a cabo durante varios años sobre la comprensión que los estudiantes universitarios logran (entorno a una gran diversidad de temas de física) le permite al grupo sacar las siguientes conclusiones sobre la enseñanza la física (McDERMOTT, 2001):

- Preguntas que requieran razonamiento cualitativo y explicación verbal son esenciales para evaluar el aprendizaje de los estudiantes y son una estrategia efectiva para ayudarlos a aprender.
- Los estudiantes necesitan desarrollar repetidas veces prácticas en las que interprete el formalismo físico y lo relacionen con el mundo real.
- Dificultades conceptuales persistentes deben ser abordadas en múltiples contextos.
- Los estudiantes necesitan participar en procesos de construcción de modelos cualitativos y de aplicación de estos modelos para predecir y explicar fenómenos del mundo real.
- Las habilidades de razonamiento científico deben ser cultivadas expresamente.
- Para lograr una comprensión funcional (habilidad para hacer el razonamiento requerido para aplicar los conceptos a situaciones nuevas) o un aprendizaje significativo se requiere que el estudiante se involucre intelectualmente.

Sin embargo, en otros casos se va más allá de la comprensión y uso adecuado de la teorías y se destaca como una gran dificultad el excesivo énfasis que se hace en la formulación matemática de la física, que hace que la “comprensión” de la física se confunda con la habilidad de interpretar las expresiones matemáticas, manipularlas y hacer uso de ellas para resolver ejercicios, y que se deje de lado el análisis y la lógica conceptual de los planteamientos teóricos. El énfasis en lo formal -se dice- impide revelar diferencias conceptuales importantes, por ejemplo, “revelar las diferencias entre el paradigma fuerza-masa-aceleración y el modelo de la conservación de la energía al predecir el comportamiento de un cuerpo que cae” (IRESON; GILL 2000, p. 3).

Si bien se sigue entendiendo que la enseñanza de la física debe centrarse en la enseñanza de las teorías de la física, hay en esta postura una aproximación y una imagen de física muy distinta. Se espera que los diferentes juicios emitidos sobre

el mundo físico en una teoría resulten comprensibles y necesarios si se los ubica en el contexto conceptual adecuado; es decir, si se especifica la concepción de mundo y la forma como es abordado. Conocer una teoría significa, entonces, conocer la concepción de mundo físico que involucra y la forma como se puede, a partir de ella, derivar los diferentes conceptos y leyes de la teoría con los que se da cuenta de los fenómenos inscritos en el dominio de ésta y establecer los nexos con la experiencia sensible. Se comienza, así, a hacer énfasis en una lógica conceptual (se espera que la teoría además de constituir un sistema formal sea conceptualmente coherente) y el concepto mismo de fenómeno sufre una gran transformación en la medida en que éste es visto indisolublemente ligado a la teoría (es pensado y descrito en términos de ella). Es desde esta perspectiva de análisis que el experimento se constituye, como dice Kuhn, en una forma de concreción de la teoría.

Pero también hay quienes han hecho el llamado a mostrar la física en su dinámica de producción y centrar la enseñanza en la generación de condiciones para aproximar y vincular a los estudiantes a la actividad científica. (AYALA et al., 2004) Así por ejemplo, R Hilbron (HILBRON, 1988) propone mostrar el carácter dinámico de la física destacando preguntas, métodos y respuestas que los físicos y pensadores se han planteado sobre los fenómenos físicos a lo largo de la historia.

Ante la diversidad de formas de comprender el mundo físico inherentes a las teorías que constituye el panorama de la física cuando se rescata la lógica conceptual y las dificultades de los estudiantes en la asimilación de dichas teorías, surge la preocupación por la forma como se puede pasar de un tipo de explicación a otro y por la forma como esto puede haber ocurrido en la historia. Los problemas de conocimiento a los que responde la actividad científica se vuelven relevantes.

Desde esta perspectiva, conocer la física sería conocer, entonces, los problemas que han posibilitado la formación y el desarrollo de los conceptos de la física, las condiciones en que tales problemas se plantean, las respuestas y formas de abordarlos que se han elaborado, la forma como evolucionan los conceptos, los elementos comunes y las diferencias básicas entre las diferentes teorías, etc. La dinámica de los problemas y conceptos rompe con la organización de la ciencia en teorías, la física como actividad comienza a plantearse como objeto de estudio en los cursos de física y el carácter dinámico e histórico de la física adquiere una gran relevancia.

Ahora bien, reconocer el carácter histórico de la física implica dejar de lado dos ideas muy generalizadas: que la física maneja verdades absolutas aunque con un dominio restringido<sup>2</sup> y que hay un progreso inmanente de ella hacia verdades cada

---

2. A pesar de las reconocidas rupturas entre las teorías modernas de la física y la mecánica newtoniana, a ésta se suele considerar completamente válida para el movimiento de cuerpos relativamente grandes con velocidades mucho menores que la velocidad de la luz; es decir, se considera que tiene un dominio de validez limitado.

vez más completas. Y dado que el planteamiento, la persistencia o no de los problemas y de enfoques o formas de abordar los fenómenos dependen de las condiciones del contexto socio-cultural específico en que esto se da, la actividad científica como tal comienza a desplazar sus productos y a emerger a un primer plano.

En este orden de ideas, el examen de la historia de las ciencias cobra especial relevancia en el ámbito de la formación en física de los docentes de física. Pero, mirar la historia es preguntar al pasado por el presente, y en consecuencia implica reconstruir el pasado desde el presente y viceversa. De esta forma la historia debe ser permanentemente reconstruida, lo mismo que las líneas de desarrollo que se puedan establecer. Pero al respecto es importante tener en cuenta además que se tiene la opción de lecturas diferentes del pasado, pues éstas dependen de las posturas que se asuman en el presente y por tanto de las intencionalidades que animan su reconstrucción.

Así, el carácter cambiante y diverso de la física y la ausencia de una dirección de desarrollo única y trascendente exige repensar lo que se enseña. Igualmente lo exige la preocupación por la comprensión que logra el estudiante de aquello que se le enseña y por la formación que se le posibilita.

En este contexto problemático para la enseñanza de la física hemos visto como en Europa desde los años ochenta, y a partir de un cuestionamiento de la física que se enseña y de la forma como se hace, se han venido consolidando dos grandes proyectos o programas de investigación y transformación de la enseñanza de la física. Uno, en Italia bajo la coordinación de Paolo Guidoni, que reúne una buena fracción de los investigadores italianos universitarios en enseñanza de la física y varios maestros investigadores de la escuela básica y media: SeCiF (Spiegare e Capire in Física). Es un proyecto que establece una correlación entre la formación de maestros de física y la innovación curricular, y que basado en una perspectiva constructivista del conocimiento y en criterios de eficiencia cognitiva y disciplinar, plantea una profunda transformación de lo que debe enseñarse en física. (GUIDONI, 2000). El otro proyecto se desarrolla en Alemania, bajo la coordinación de F. Herrmann del Departamento de Didáctica de la Física de la Universidad de Karlsruhe. Con el fin de proveer condiciones para que los estudiantes accedan rápidamente a las formas actuales de ver los fenómenos físicos, el grupo ha propuesto centrar la enseñanza de la física en magnitudes del mismo tipo de las magnitudes básicas de la mecánica cuántica así como de las magnitudes extensivas de la termodinámica, ha generado y fundamentado la forma de hacerlo, y elaborado para el nivel medio el *Karlsruhe Physics Course*; experimentando, así, la física a ser enseñada con transformaciones radicales.

También se han comenzado a realizar eventos que buscan ante todo proveer espacios para reflexionar sobre la física que debe ser enseñada; *The International*

*Conference on Thinking Science for Teaching: the Case of Physics* realizada en septiembre de 1994 en Roma, es un buen ejemplo a este respecto. Si bien a nivel latinoamericano este tipo de movimiento es aún muy incipiente, la problemática no deja de ser menos relevante y apremiante.

Resumiendo hasta aquí, podemos afirmar que cualquiera de las perspectivas abiertas en las últimas décadas para la enseñanza de la física por la investigación en este campo exige la elaboración de otras formas de presentar la física, en particular de otro tipo de textos de física, en los que se desarrolle la forma de presentación que la perspectiva investigativa propone.<sup>3</sup> Claro está que no es la única condición para lograr una transformación en la enseñanza de la física; pero sí es una condición indispensable.

## Los estudios histórico-críticos para la enseñanza de la Física

### Definiendo su intencionalidad

Si se deja de hacer la separación habitual entre la actividad científica y los productos que se generan con ella<sup>4</sup> y se comienza a ver los productos de la ciencia en íntima conexión con los contextos y actividad de producción y de resignificación, tanto la manera de entender que es la física como la problemática de su enseñanza se transforma significativamente.

Desde esta perspectiva la ciencia es concebida como una actividad de comprensión del mundo que, de acuerdo a contextos socio-culturales específicos y dando respuesta a éstos, desarrolla una comunidad que se ha venido constituyendo históricamente, legitimándose socialmente, generando tradiciones y recomponiéndose de acuerdo a las dinámicas de las condiciones históricas. En ese proceso ha venido también construyendo y transformando criterios (valores) comunes de trabajo, a partir de los cuales se define que es aceptable, que es

3. Como hemos mostrado, esto se ha venido haciendo aunque no en la cantidad y circulación requerida. En el caso del grupo de la Universidad de Washington, éste tiene dos proyectos curriculares importantes: 1) McDermott and The Physics Education Education Group at the University of Washington (1996); y 2) McDermott, Shaffer and The Physics Education Group at the University of Washington (2002).

4. "La separación entre la actividad científica y los productos generados por ella lleva necesariamente a la 'cosificación' de los mismos y pone al individuo en una relación de exterioridad y de subordinación frente a lo que se reconoce como conocimiento científico... Al identificar los resultados con el conocimiento, considera que lo que se trata es de asimilarlos y de hacer uso de ellos. Los conceptos y leyes adquieren existencia ontológica (mírese por ejemplo las maneras de asumir los conceptos de energía, de carga, de masa, etc), son en sí mismos la realidad objetiva. En este contexto preguntas como las siguientes carecen de sentido: ¿por qué es necesario establecer un concepto o una ley o un principio dado? ¿a qué problema responde? ¿qué tan válido o pertinente le resulta el problema planteado?". Tomado de Ayala et al. (2004).

memorable, etc. El desarrollo de la ciencia es, pues, el desarrollo de la actividad científica y el desarrollo de la comunidad.

El problema de la enseñanza de la física se convierte, entonces, en un problema fundamentalmente cultural. A través de la enseñanza de las ciencias y de la física en particular no sólo se generan condiciones culturales para legitimar y fomentar la actividad científica sino, principalmente, para que individuos y colectividades puedan participar activamente en la producción de formas de representación del mundo “natural”, de sí mismos y de los otros, de lo social, del país en su relación con otros, etc., que permitan enfrentar favorablemente los múltiples y complejos conflictos que los afectan; se genera igualmente condiciones culturales, vincular nuestra cultura con la cultura científica e incidir en su transformación.

¿Cómo construir una cultura científica en una cultura como la nuestra que responda a nuestra problemática, donde la relación principal que se tiene con el conocimiento científico es de consumo? ¿Qué debe ser enseñado? ¿Cómo hacer para que el futuro maestro pueda ser sujeto de la cultura científica? son interrogantes que surgen de esta manera de mirar la ciencia, y su solución depende en buena parte de la concepción de conocimiento individual que se tenga.

A este respecto resulta importante destacar que el conocimiento individual al igual que el conocimiento científico es producto y proceso (actividad); y más fundamentalmente es un proceso: el conocimiento es diferente si el proceso lo es, así los resultados o productos resulten análogos (den la misma respuesta). Por eso se considera que no se debe confundir una buena formación en ciencias con el aprendizaje y manejo de ciertos argumentos, tan correctos técnicamente como un profesor sea capaz de transmitir. Decir que el estudiante construye el conocimiento significa que elabora y desarrolla estructuras conceptuales que le permiten comprender y actuar sobre la realidad, a partir de las estructuras que ya posee. Esto hará que el conocimiento se vuelva comprensible, flexible, reorganizable, compartible; un modo de actuar y transformar la realidad y por lo tanto útil para el individuo, para el grupo social del cual hace parte, y para la sociedad en general. Se trata pues de generar condiciones que favorezcan una nueva relación frente al conocimiento, en la que resulte posible al estudiante organizar y ampliar su experiencia, estableciendo una relación de diálogo con los aportes de otros pensadores y, en general, con la información que circula en su medio cultural.

En este orden de ideas es claro que la enseñanza de la física genera condiciones para que individuos y colectividades desarrollen procesos de recontextualización de saberes científicos tendientes a posibilitar la construcción de representaciones del mundo natural y de la ciencia, y de esta manera posibilitar un enriquecimiento de su visión del mundo (tanto natural como social), una ampliación y reorganización de su experiencia y la elaboración de criterios de acción. La recontextualización de saberes es entonces una *actividad constructiva y dialógica* en

busca de elementos para la elaboración o solución de un problema o la construcción de una imagen de una clase de fenómenos, que depende inevitablemente de los intereses, conocimiento y experiencia de quienes la realizan. La generación de tales condiciones implica hacer consideraciones de diferente índole: en relación al entorno social y cultural del país; en relación al espacio escolar; en relación al desarrollo del conocimiento individual; en relación a la física.

Una caracterización de los estudios histórico-críticos

En este contexto de significación se inscriben los estudios histórico-críticos que hemos realizado por casi dos décadas, basados en el análisis de textos elaborados por pensadores que contribuyeron de manera significativa a la consolidación de la física (análisis de originales). Los estudios histórico-críticos son en sí mismos procesos de recontextualización de los saberes científicos. Desde nuestra perspectiva, no se trata de encontrar el significado de un texto, como si éste estuviera en él, ni de desvelar lo que ciertos autores (científicos) concebían acerca de fenómenos o problemáticas particulares de acuerdo al contexto en que fueron elaborados, ni de hacer seguimientos de la evolución de una noción o concepto específico, ni de esclarecer los obstáculos por los cuales diferentes teorías tienen dificultades en ser asimiladas. Se trata más bien de establecer un *diálogo* con los autores a través de los escritos analizados, con miras a construir una estructuración particular de la clase de fenómenos abordados y una nueva mirada que permita ver viejos problemas con nuevos ojos (proceder característico de la construcción de formas alternativas de representación). Es, pues, un diálogo y una construcción intencionada que intenta, además, establecer nexos con el “conocimiento común”, dada la perspectiva pedagógica que lo anima.

En este sentido resulta pertinente notar la diferencia con la interesante postura que sobre el retorno a las fuentes originales asume J. Granés y L. M. Caicedo (GRANÉS; CAICEDO, 1997, p.72-73). El retorno a los originales, según ellos, permite:

- Entender que los conceptos que finalmente fueron decantados en un paradigma, y que son presentados de manera acabada y precisa en los libros de texto, tuvieron una génesis y un proceso de desarrollo; esto permite enriquecer el concepto, flexibilizándolo y sugiriendo nuevos significados y relaciones.
- Identificar las problemáticas que originalmente motivaron la elaboración de un conocimiento particular y, en muchas ocasiones, las contradicciones y los debates entre posiciones contrapuestas; problemáticas y debates que, en general, no aparecen en los libros de texto.
- Responder adecuadamente a preguntas que se suelen hacer los estudiantes sobre el origen y fundamentación de los principios básicos de la física.

- Entender, por comparación, los procesos de recontextualización que se operan en los libros de texto. Es decir, resulta posible tomar conciencia de los cambios en el significado de los conceptos y en su articulación respectiva, de las transformaciones en la formulación de los problemas, en el lenguaje, en las formas de argumentación y en los criterios de coherencia y de rigor.

Queremos con ello enfatizar que nuestro acercamiento a las fuentes originales y el análisis que de ellos se realiza no tiene en ningún momento un carácter objetivante sino constructivo. Es, en primera instancia, una forma de construir opciones para la enseñanza de la física: de definir núcleos problemáticos, de caracterizar formas de aproximación y formas y niveles de explicación, de establecer rutas posibles en el tratamiento de los núcleos problemáticos. Pero, en términos generales se podría afirmar que este tipo de análisis involucra un proceso tridimensional, en cuanto permite paralelamente: Configurar una mirada sobre el fenómeno abordado en el texto original; Valorar y caracterizar los aportes del autor; Elaborar criterios para orientar los procesos de conocimiento en el aula.

Esta manera de abordar los originales tiene su base en los siguientes supuestos epistemológicos:

- El conocimiento es ante todo una actividad y un proceso complejo con un doble carácter individual y social.
  - Todo conocimiento especializado, incluido el científico, hunde sus raíces en el conocimiento común. La búsqueda de nexos con el conocimiento común se convierte en un propósito prioritario.
- Los conceptos son, ante todo, formas de mirar el mundo que, al ser organizadores de la experiencia, determinan aspectos del mundo que son mirados.
- Históricamente los fenómenos y el mundo físico en general han sido abordados simultáneamente de múltiples maneras, es decir, desde diferentes esquemas de organización. Estos esquemas de organización se vuelven hegemónicos en algunos casos durante períodos relativamente largos, son abandonados en otros casos y muchas veces son retomados posteriormente, dependiendo de las exigencias y condiciones de los contextos específicos de resignificación.
- El individuo común -y por lo tanto el estudiante- en su experiencia cotidiana han elaborado esquemas organizativos de fenómenos abordados en los cursos de física. Este es el caso de los fenómenos mecánicos y térmicos. Los esquemas de organización de estos fenómenos sirven de base para la construcción de otros esquemas y para organización de otros fenómenos.
- La construcción de una base fenomenológica es un centro de trabajo para aquellos casos en los cuales el estudiante no tenga mayor experiencia con el tipo de fenómenos estudiados.

En el proceso de recontextualización se requiere distinguir fases o momentos, pues, si bien el análisis histórico-crítico, en una primera fase, aporta elementos

valiosos para la configuración de problemáticas en torno a las cuales organizar la actividad en el aula así como para determinar tanto formas posibles de abordarlas como estructuras conceptuales que están a la base de las mismas; es necesario un nuevo proceso de recontextualización para proveer condiciones que haga posible que los estudiantes enriquezcan y organicen su experiencia en torno a los fenómenos en cuestión en el sentido o perspectiva propuesta. Esta vez la reflexión sobre las condiciones cognitivas de los estudiantes (su familiarización con dichos fenómenos, su formación, etc.) y de trabajo en el aula dirige este proceso; puesto que éstas definen si una situación problemática propuesta resulta o no significativa para el grupo de estudiantes en cuestión y la forma de desarrollarla.

En dicho proceso, es posible distinguir dos momentos: uno, de diseño de la propuesta (definición y estructuración de las actividades didácticas) en el que juega de manera decisiva los supuestos del maestro-investigador sobre las condiciones cognitivas de los estudiantes; y otro, de trabajo en el aula, en el que se realiza un proceso de ajuste permanente de la propuesta, de acuerdo a las especificidades del grupo en cuestión. Sobre este segundo momento, es importante señalar que no se trata de examinar la bondad de la propuesta (si es o no exitosa) o el efecto de la propuesta didáctica. Se busca, ante todo, detectar las dificultades y las posibilidades que surgen de la manera como son expuestas y estructuradas las situaciones problemáticas así como de las condiciones provistas para abordarlas; se busca también rescatar las acciones diversas que el profesor lleva a cabo para superarlas e identificar formas de abordarlas manifiestas en el trabajo realizado por los estudiantes. Es esta una actividad que enriquece la experiencia del profesor y su conocimiento tanto en física como en pedagogía.

Por último, es necesario señalar que con los estudios histórico-críticos se ha buscado también contribuir a ese movimiento generado por investigadores en el campo de la enseñanza de la física que ven la necesidad de modificar la forma como usualmente se presenta esta disciplina, poniendo en circulación en el medio de los docentes de física formas alternas de organizar los fenómenos, con el fin de mostrar la posibilidad de otras selecciones y estructuraciones temáticas que puedan resultar más significativas para la enseñanza de la física. Como dice Paolo Guidoni (GUIDONI et al., 2000, p.4), refiriéndose a los textos que se escriben para enseñar física y a las críticas que se suelen hacer a los maestros de física, “para romper la cadena perversa de hombres ciegos pretendiendo guiar a hombres ciegos...se requiere de un esfuerzo coherente: teniendo en cuenta –e involucrando en el mismo juego– a todos los diferentes actores a través de los cuales el juego de la transmisión cultural es jugado”.

Algunas consideraciones a partir de los desarrollos de la perspectiva

Los análisis histórico-críticos con una intencionalidad pedagógica, como ya se dijo, se despliegan en tres dimensiones íntimamente ligadas: una, enfatiza en la

física como tal, dando lugar a un examen de la física como disciplina; la otra, aporta elementos de carácter histórico-epistemológico y, la última, lo hace en el ámbito pedagógico y didáctico propiamente dicho. En lo que sigue y para terminar se presentarán algunas consideraciones a modo de conclusión basadas en desarrollos de la investigación.

Aportar elementos para la elaboración de criterios que orienten la selección de los aspectos en torno a los cuales organizar la formación en física (desde “el punto de vista disciplinar”) de los profesores de física, de modo que en los distintos cursos se generen condiciones para que sea posible la formulación de problemas, la conformación de fenomenologías y la elaboración de explicaciones es un propósito central de este tipo de indagaciones.

Los análisis histórico-críticos de los originales<sup>5</sup> permiten elaborar y poner de relieve concepciones de mundo, formas de abordar, problemas centrales y sistemas conceptuales en torno a los fenómenos analizados, así como destacar la fenomenología que es compatible con cada planteamiento teórico. El análisis de éstos a su vez es una fuente de elementos para proponer estructuraciones de la disciplina que respondan a las condiciones cognitivas de los estudiantes así como a los desarrollos disciplinares, y que permitan hacer evidentes los nexos con los esquemas del conocimiento común.<sup>6</sup>

Entonces, se puede afirmar, en primer lugar, que el reconocimiento y valoración de las diversas perspectivas de análisis de los fenómenos físicos resultan ser de crucial importancia en el momento de hacer selecciones y estructuraciones de la física a enseñar.

Por ejemplo, en la mecánica de corte newtoniano que usualmente se enseña es importante distinguir dos formas de abordar el movimiento: una en relación al

5. En el transcurso de las dos décadas se han abordado los escritos más significativos de un buen número de pensadores que contribuyeron a consolidar la física como disciplina, así: *Mecánica*: Textos de Arquímedes, Pascal, Boyle, Galileo, Newton, Euler, Lagrange y Maxwell; *Termodinámica fenomenológica*: Textos de Newton, Black, Carnot y Planck; *Electromagnetismo*: Textos de Ampere, Faraday, Maxwell y Hertz; *Óptica*: Textos de Descartes y Huygens; *Relatividad Especial*: Textos de Hertz, Lorentz, Poincaré, Einstein, Minkowsky; *Mecánica Cuántica*: Tratado de Mecánica Cuántica de Dirac; *Rayos Cósmicos*: Textos de Millikan y Rossi. A continuación mencionamos algunos textos didácticos elaborados (pre-impresos): La velocidad como variable de estado; Visión temporal del movimiento: Impulso y Cantidad de movimiento; Visión espacial del movimiento: Trabajo y Energía; Introducción a la problemática de la estática: El principio de velocidades virtuales; La relación mecánica-electromagnetismo y la mecánica de medios elásticos; La medida del cambio de estado de un sistema y el principio de causalidad: el principio de conservación de la energía; El electromagnetismo desde una perspectiva de campos; El objeto de la física.

6. El término *conocimiento común* no se refiere a un estado único, definido de manera universal. Por un lado, es necesario referirlo siempre a una colectividad particular (i.e. al grupo de estudiantes con los que se trabaja); y por otro, el conocimiento común se supone cambiante y dependiente de las experiencias de quienes integran la colectividad.

tiempo y la otra con relación al espacio. No tener en cuenta estas dos perspectivas de análisis dio origen a una larga polémica –la controversia *vis viva*-cantidad de movimiento– durante el siglo XVIII y es fuente de dificultades en la comprensión de los planteamientos teóricos consignados en los textos y de aparentes contradicciones en el análisis de situaciones en los cursos de mecánica. La polémica históricamente fue resuelta por D’Alambert haciendo notar estas dos formas posibles de pensar el movimiento. En un caso, el temporal, se generan magnitudes como son el impulso y el momentum lineal; en el otro caso, cuando se tiene como referencia el espacio, se establecen relaciones entre los cambios de configuración y los cambios en el movimiento, posibilitándose la elaboración de magnitudes como son el trabajo, la energía cinética y la energía potencial.

En el electromagnetismo, por su parte, es posible distinguir dos perspectivas de análisis de los fenómenos que no sólo son diferentes sino opuestas. En una, la acción entre los cuerpos es interpretada como una *acción directa y a distancia*; todo cambio se atribuye a los cuerpos y cualquier referencia al espacio sólo se hace para definir su disposición espacial. En la otra perspectiva, la acción entre cuerpos que es percibida por los sentidos es atribuida al estado en que se encuentra el medio en el cual están inmersos (o mejor aún, del cual hacen parte); el estado del medio (o si se quiere, del espacio) y sus cambios es, ahora, el objeto de análisis. Usualmente la distinción entre estas dos perspectivas es omitida, y se pasa de una perspectiva a la otra sin hacerlo explícito, produciendo imágenes contradictorias y toda una serie de dificultades al tratar de comprender las diversas afirmaciones que se hacen sobre los fenómenos electromagnéticos.

En el caso de la teoría especial de la relatividad (TER), se suele mencionar, por ejemplo, que el principio de relatividad de la TER es una generalización del principio de relatividad galileano. Usualmente, no se discute el significado de tal afirmación y no se suele hacer énfasis en el cambio radical de perspectiva que involucra, lo que genera serias dificultades cuando se trata de dar sentido a las afirmaciones que se hacen desde esta teoría. En la TER, al contrario de lo que ocurre en la mecánica newtoniana, el mundo físico no puede ser concebido de manera independiente del observador: lo que se observa y lo observado son interdependientes, conforman una unidad; toda afirmación que se haga sobre el mundo físico es relativa a sistemas de referencia. De esta manera, se asegura la validez de las observaciones hechas desde cualquier marco de referencia. Pero hay una exigencia de unidad que supera «el todo es relativo»: las cantidades que tengan algún significado físico no deben discriminar entre los sistemas de referencia inerciales, deben ser invariantes: las magnitudes físicas expresan las relaciones comunes entre «el mundo físico» y los sistemas de referencia.

Si, de otra parte, miramos el trabajo desarrollado por Dirac en torno a la mecánica cuántica y expuesto en su tratado, se puede considerar (BAUTISTA,

2004) que se inscribe en una postura fenomenológica, desde la cual no es necesario ni deseable la inclusión de modelos espacio temporales para organizar un cierto campo de la experiencia, en particular el de lo absolutamente pequeño; y que tiene como objeto la formalización de la noción de “cualidad” y de la acción de “observar”, quedando el sistema cuántico definido por las cualidades que se le pueden asignar de manera consistente (observables que conmutan). Así, la elaboración de una interpretación consistente y de un sentido de la teoría cuántica, permite superar la apreciación común de que ésta es un sistema puramente formal que no es susceptible de ser comprendida y abre otras opciones para su enseñanza.

En síntesis, la recuperación, explicitación y análisis de las diversas formas de abordar los fenómenos físicos genera un nuevo y amplio espacio de posibilidades para la estructuración de la física que se pretende enseñar en los dos sentidos: en cuanto a la definición de problemáticas a abordar en los cursos de física y en cuanto a la configuración de actividades y criterios para orientar los procesos de conocimiento de los estudiantes en torno a éstas.

En segundo lugar, es importante tener en cuenta que hay una serie de esquemas organizadores y explicativos que se utilizan una y otra vez para conformar fenomenologías de diferentes clases y dar cuenta de ellas, lo cual pone de presente el carácter metafórico o analógico del conocimiento. Los conceptos de equilibrio y de estado, por ejemplo, son esquemas potentes y muy eficientes de organización de los fenómenos físicos.

En este orden de ideas, es posible afirmar que la mecánica, asumida en un sentido amplio, aporta gran parte de los esquemas de organización y referentes para el análisis y configuración de otro tipo de fenomenologías, adquiriendo la enseñanza de la mecánica especial relevancia. Sin embargo en la enseñanza se suele privilegiar la mecánica newtoniana a pesar de las reconocidas rupturas con la física moderna y aún con el electromagnetismo desde una perspectiva de campos; planteándose la necesidad de examinar nuevas posibilidades para la enseñanza de la mecánica.

Así, si bien se puede asegurar que la teoría electromagnética tiene con la mecánica una relación de constitución, es importante tener en cuenta que el referente en la organización de los fenómenos electromagnéticos desde una perspectiva de campos es la mecánica de medios continuos y no la mecánica de la partícula (mecánica newtoniana). Lo anterior pone de manifiesto la importancia de abordar los fenómenos asociados a la mecánica de medios continuos y desarrollar los esquemas cognitivos que están a la base de su organización.

El privilegio que se le da a la mecánica newtoniana en la enseñanza de la mecánica impide que aspectos importantes en la organización de los fenómenos físicos sean trabajados. El caso del equilibrio mecánico o de la estática ilustra este tipo de dificultades. La conceptualización del equilibrio y de estados de equilibrio,

la definición de las condiciones de equilibrio y la caracterización de los estados de equilibrio son aspectos que si bien son tratados en el ámbito de los fenómenos mecánicos también lo son en el caso de otros fenómenos; y son un referente para el análisis de las situaciones de desequilibrio y los procesos. Pero, la estática se suele plantear en los textos de física general como un caso particular de las leyes del movimiento de Newton. Tal reducción le resta toda importancia a la estática, le hace perder interés conceptual, al igual que la riqueza que involucra abordar y acoger como un problema propio esta clase de fenómenos físicos; cerrando en particular un espacio para desarrollar esquemas de análisis y organización importantes para avanzar en la conformación de otros tipos de fenomenologías. De otra parte, en lo que respecta a la dinámica de los sistemas (AYALA et al., 2003), se puede afirmar que gran parte de los esfuerzos en la enseñanza de la mecánica se dirigen a lograr la descripción cinemática de los sistemas mecánicos; lo cual configura otra de las grandes limitaciones del enfoque que se le da a la enseñanza de la mecánica. Como se sabe, los cambios que experimenta un sistema pueden ser caracterizados de manera dinámica a partir de magnitudes que permanecen constantes durante éste: momento lineal, momento angular, energía; magnitudes que no sólo son importantes en el ámbito de la mecánica, sino que se constituyen en un importante elemento de análisis en la electrodinámica y en la mecánica cuántica. Desde esta perspectiva es necesario determinar cómo se transmiten y distribuyen estas magnitudes en el sistema; lo que convierte al concepto de flujo o corriente en un esquema básico de organización de este tipo de fenómenos y de aquellos incluidos en la categoría de fenómenos de transporte (CASTILLO, 2004).

En tercer lugar, es importante darse cuenta de que los fenómenos que se toman usualmente como puntos de partida en la enseñanza de la física están muy lejos de ser simples. En general el fenómeno a estudiar es una síntesis de un cierto campo de experiencia e involucra por lo tanto un alto grado de organización. Así por ejemplo, fenómenos, considerados tan simples en el ámbito de la enseñanza de la física, como son la reflexión y la refracción son la síntesis y representación de una primera fase de la organización del ver, de esa experiencia tan común como es verse, ver cuerpos, ver cuerpos a través y/o por medio de otros (y de otra menos común: arcos iris, espejismos, etc.) e involucran en su constitución la construcción del rayo de luz como elemento organizador del ver (HERNANDEZ; TARAZONA, 2004).

Por último, la problemática de los procesos de formalización y matematización de los fenómenos físicos cobra especial importancia, máxime si se tiene en cuenta el papel central que tiene las matemáticas en la física y las dificultades que se derivan de ello en la enseñanza de la física. La caracterización de estos procesos a través de estudios de caso tanto a nivel histórico de la física como de los estudiantes se convierte en una necesidad para estructurar la física a enseñar y para orientar los procesos de conocimiento en los cursos de física.

El análisis de los procesos de formalización y matematización de los fenómenos físicos exige, entre otras cosas, explicitar que se entiende por matemáticas o, lo que sería equivalente, precisar cuál es el carácter y el objeto de ésta; exige, igualmente, caracterizar el papel de la experiencia en el origen de las ideas matemáticas, su diferencia con la física y la relación que se establece entre ellas; exige, también, precisar el significado de los términos “formalización” y “matematización” y su relevancia en el análisis del conocimiento sobre el mundo físico, así como determinar y caracterizar estrategias de formalización. En particular, si asumimos que matematizar un fenómeno físico no consiste en sobreponer un aparato matemático sobre el fenómeno, sino que se requiere, ante todo, construir la propia posibilidad de matematizarlo, es decir, construir las magnitudes, relaciones y procedimientos apropiados para representarlo y cuantificarlo; examinar los procesos involucrados en la construcción de una determinada magnitud adquiere gran importancia desde el punto de vista pedagógico.

### Referencias bibliográficas

- AYALA, M. Mercedes. et al. La mecánica y su relación con otras teorías. Elementos para un análisis de alternativas para la enseñanza de la mecánica. *VIII Conferencia Interamericana sobre Educación en Física*, (H-03), Habana 2003.
- AYALA, M. Mercedes; MALAGÓN Francisco; GARZÓN, Marina. Consideraciones sobre la formalización y matematización de los fenómenos físicos. *Congreso Nacional sobre Enseñanza de la Física*. Bogotá, 2004.
- AYALA, M. Mercedes; ROMERO, Ángel; MALAGÓN, Francisco. De la mecánica newtoniana a la actividad de organizar los fenómenos mecánicos. *Física y Cultura*, Bogotá, n.7, 2004.
- BAUTISTA, G. Una recontextualización para la enseñanza de la mecánica cuántica. *VI Congreso Latinoamericano de Historia de las Ciencias y de la Tecnología*. Buenos Aires, 2004.
- CASTILLO, J.C. *La corriente y la perspectiva dinámica*. 2004. Tesis (Maestría en Docencia de la Física). Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá.
- GIL PÉREZ, D. et al. El fracaso en la resolución de problemas de Física: una investigación orientada por nuevos supuestos. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 6, n. 2, 1988.
- GRANÉS, José; CAICEDO, Luz Marina. Del contexto de la producción de conocimientos al contexto de la enseñanza. Análisis de una experiencia pedagógica. *Revista Colombiana de Educación*, Bogotá, n. 34.
- GUIDONI et al. Explaining and understanding in physics. SeCiF: A project for correlated teachers' formation and curriculum innovation. *XVIII GIREP Internacional Conference. Physics teacher education beyond 2000*. Barcelona, agosto 2000.
- HERNANDEZ, Magda; TARAZONA, Liliana. *La explicación como dinámica de la enseñanza de la física. El ver y la luz: su problemática y relación con la experiencia*. Trabajo de grado, Licenciatura en Física, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, 2004.

- HERRMANN, F. The Karlsruhe Physics Course. *Eur. J. Phys.*, v. 21, p.49-58, 2000.
- HERRMANN, F. The KPK-A Physics course based on analogies. *VIII Conferencia Interamericana sobre Educación en Física*. La Habana, julio de 2003.
- IBARRA, O. Relaciones entre ciencia, educación y sociedad. *TEA Revista de la Facultad de Ciencia y Tecnología*. Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, n.15, editorial, 1. semestre 2004.
- IRESON, G.; GILL P. The mathematics-physics problem revisited. *XVIII GIREP Internacional Conference. Physics teacher education beyond 2000*. Barcelona, agosto 2000.
- McDERMOTT, L.C.; SHAFFER, P.S.; THE PHYSICS EDUCATION GROUP AT THE UNIVERSITY OF WASHINGTON. *Tutorials in Introductory Physics*. 1<sup>st</sup>. ed. Upper Saddle River, NJ: PrenticeHall, 2002.
- McDERMOTT, L.C.; THE PHYSICS EDUCATION EDUCATION GROUP AT THE UNIVERSITY OF WASHINGTON. *Physics by Inquiry*. New York: Wiley, 1996
- McDERMOTT, Lillian. Oersted Medal Lecture 2001: Physics Education Research – The Key to Student Learning. *Am.J.Phys.*, 69(11), nov. 2001.
- MOREIRA, Marco Antonio et al. Modelos mentales y aprendizaje de Física en electricidad y magnetismo. *Revista Enseñanza de las Ciencias*. Barcelona, v. 16, p. 289-303, 1998.
- ROJAS, Darío; GÓMEZ, Bernardo. *Informe de Evaluación del programa Maestría en Docencia de la Física de la Universidad Pedagógica Nacional*. Bogotá, Diciembre de 1999.

*Recebido em 13 de outubro de 2005 e aprovado em 03 de novembro de 2005.*