

FÍSICA DE PARTÍCULAS Y VISIONES EPISTEMOLÓGICAS CONTEMPORÁNEAS EN LA FORMACIÓN POSTGRADUADA DE PROFESORES DE FÍSICA
(Particle physics and contemporary epistemological views in the graduate education of physics teachers)

Marco Antonio Moreira [moreira@if.ufrgs.br]
Neusa Teresinha Massoni [neusa.massoni@brde.com.br]
Instituto de Física - UFRGS
Código Postal 15051 - Campus
91501-970 Porto Alegre, RS

Resumen

Este trabajo describe una experiencia de enseñanza de un módulo de Física de Partículas en una disciplina de Física Moderna y Contemporánea, en la formación postgraduada de profesores de Física. Comenta también la influencia provocada por una disciplina de Epistemología, anteriormente cursada, en las concepciones de esos profesores sobre el objeto de estudio y también en sus visiones sobre la naturaleza de la ciencia. Caracteriza aún de un modo general cómo fue tratado el contenido y transcribe discusiones y opiniones de los profesores desde una perspectiva epistemológica.

Palabras clave: formación de profesores de física, física de partículas, visiones epistemológicas contemporáneas, prácticas didácticas.

Abstract

This paper describes a teaching experience in the Particle Physics module of a graduate course on Modern and Contemporary Physics for physics teachers. It also describes the influence of a previous course on Epistemology on their conceptions about this subject and about the nature of science in general. The way the subject Particle Physics was approached and the teachers' opinions from an epistemological perspective are reported as well.

Keywords: physics teachers preparation; particle physics; contemporary epistemological views; didactic practices.

Introducción

Este trabajo es parte de un estudio exploratorio realizado con profesores de Física que ya actúan en la educación básica en el ámbito del curso de Maestría Profesionalizante en Enseñanza de Física ofrecido por la Universidad Federal de Río Grande do Sul. Ese estudio exploratorio fue una investigación cualitativa del tipo etnografía de aula se y constó de dos etapas: primero realizamos una observación participante en una disciplina de Epistemología y Enseñanza de Física; a continuación, observamos el mismo grupo de profesores en la disciplina de Tópicos de Física Moderna y Contemporánea II, que se divide en cuatro módulos (Relatividad, Física de Partículas, Superconductividad y Física de Plasmas). Describimos en este trabajo sólo la experiencia relativa al módulo de Física de Partículas. El estudio exploratorio compone un conjunto de estudios de caso y forma parte de un estudio más amplio, en curso, sobre cuestiones de cambio epistemológico en profesores y su repercusión en la enseñanza de Física.

Una breve contextualización

Antes de realizar la etnografía de aula de que trata este trabajo, realizamos una observación participante en la disciplina de Epistemología y Enseñanza de Física, que constituye la primera etapa del ya referido estudio exploratorio que presentó y discutió las epistemologías de nueve entre los principales filósofos de la ciencia del siglo XX: Karl Popper (1982), Thomas S. Kuhn (1978), Imre Lakatos (1993), Gaston Bachelard (1988), Larry Laudan (1977), Stephen Toulmin (1977), Humberto Maturana (2001); Paul Feyerabend (1989) y Mario Bunge (1960, 1974, 2000).

Entre los objetivos de la disciplina, se destacan: proporcionar a los profesores actuantes en la educación básica una visión crítica acerca del problema del origen y justificación del conocimiento científico a través del estudio de la Epistemología y de aspectos históricos de la Física y buscar las implicaciones de estas ideas para la enseñanza de la Física.

Resumimos, a continuación, algunas de las ideas de razonable consenso entre esos filósofos de la ciencia, que representan, en grandes líneas, la visión actual de la naturaleza ciencia, que nosotros llamamos de “visiones epistemológicas contemporáneas”:

- *el conocimiento científico es una construcción humana;*
- *las teorías científicas tienen naturaleza conjetural, hipotética y tentativa;*
- *alguna teoría, aunque bajo la forma de intuición e hipótesis, siempre precede la observación;*
- *observación y experimentación no son, por sí solas, fuentes de conocimiento;*
- *las comunidades científicas comparten conjuntos de reglas, creencias, técnicas y modelos que constituyen paradigmas, que de vez en cuando son sustituidos a través de revoluciones científicas o, más frecuentemente, por evoluciones científicas;*
- *la ciencia no es socialmente neutra y descontextualizada, sino un proceso cooperativo, con influencias sociales y culturales de su época;*
- *no existe un método científico único y algorítmico para hacer ciencia: hay una diversidad, una pluralidad metodológica;*
- *el avance de la ciencia se da a través de la competición y sustitución y/o modificación de teorías y programas de investigación;*
- *conjuntos de conceptos y teorías evolucionan con el tiempo acompañando la propia evolución social y cultural;*
- *leyes y teorías no son fijas e inmutables, tienen estatus temporal, son tentativas de explicar la naturaleza, que pueden mostrarse insuficientes;*
- *el cambio conceptual ocurre muchas veces a través de un proceso selectivo, darwiniano, en que sobreviven las teorías que explican mejor;*
- *periódicos, congresos, asociaciones y profesionales funcionan como filtros y foros de discusión de nuevas ideas;*
- *imaginación y creatividad son ingredientes indispensables para el trabajo científico;*
- *la ciencia es una empresa racional, no lineal, no cumulativa, en que coexisten teorías rivales y cuyo objetivo es resolver más problemas científicos.*

Una vez introducidas y discutidas esas ideas, les ofrecieron a los profesores la oportunidad de mirar de manera más crítica los contenidos de Física Moderna y Contemporánea. Es lo que intentaremos mostrar.

La disciplina Tópicos de Física Moderna y Contemporánea II. Módulo: Física de Partículas

La disciplina de la cual formaba parte el módulo de Física de Partículas fue ofrecida en el primer semestre de 2007, en el curso de Maestría Profesionalizante en Enseñanza de Física de la UFRGS. Cada módulo fue ministrado por un profesor distinto, en el siguiente orden: Relatividad, Física de Partículas, Superconductividad y Física de Plasmas.

El objetivo principal de la disciplina como un todo es discutir temas de la Física Moderna y Contemporánea con potencial de inserción en el currículo de Física de la Enseñanza Media con el fin de suplir lagunas de contenido que los profesores puedan presentar.

La disciplina tuvo duración de un semestre, con cuatro semanas para cada módulo. La carga horaria semanal fue de 4 horas concentradas en un único día, los viernes, totalizando 64 horas. De esta forma, el módulo de Física de Partículas contó con 16 horas, distribuidas en cuatro encuentros.

El programa contempló introducción de los conceptos, principios, leyes de conservación, modelos, postulados, etc., de cada área de la Física Moderna estudiada, en general, presentados a través de clases expositivas y seminarios sin mucha profundidad en el formalismo matemático. También se proponían lecturas de textos de apoyo y artículos relacionados que los profesores, entonces alumnos que aquí son llamados profesores-alumnos, efectuaban fuera del horario de clase y que servían de base para discutir y realizar las tareas en pequeños grupos. Al final de cada módulo, que tuvo en cuenta la presencia, la participación en las discusiones y la realización de las tareas propuestas, hubo una evaluación en forma de prueba o de un trabajo escrito que fue entregado sobre tópicos relevantes del tema en estudio.

Participaron de esta disciplina 10 profesores-alumnos. Nueve de ellos también integraron la primera etapa del estudio exploratorio, o sea, también cursaron la disciplina de Epistemología y Enseñanza de Física. El grupo está identificado en el Cuadro 1, siendo que el décimo profesor-alumno (que no participó de la 1ª etapa) fue indicado con la sigla PROF28, pues optamos por mantener las mismas siglas utilizadas en el análisis de la primera etapa, que tuvo el formato de curso intensivo de verano, abierto, y contó con 27 profesores-alumnos inscritos.

Cuadro 1 - Características de los profesores-alumnos inscritos en la disciplina Tópicos de Física Moderna y Contemporánea II, 2007/1 (módulo Física de Partículas)

SIGLA	SEXO	NIVEL DE ENSEÑANZA DE ACTUACIÓN	UF	TIEMPO DE ACTUACIÓN
PROF1	Masculino	MEDIO	RS	17 años
PROF3	Masculino	FUNDAMENTAL Y MEDIO	SC	5 años
PROF13	Femenino	FUNDAMENTAL Y MEDIO	RS	7 años
PROF14	Masculino	MEDIO	RS	29 años
PROF21	Femenino	MEDIO	RS	15 años
PROF22	Masculino	FUNDAMENTAL Y MEDIO	RS	5 años
PROF23	Masculino	MEDIO	RS	20 años
PROF24	Masculino	MEDIO	RS	18 años
PROF26	Masculino	NO RESPONDIÓ	-	-
PROF28	Masculino	MEDIO	RS	-

En esta etapa de la investigación, uno de los autores actuó como profesor y el otro actuó tan sólo como observador-participante, a diferencia de la etapa anterior donde ambos actuaron como docentes. El observador participante asistió a las clases y participó, siempre que posible, de las discusiones y actividades durante la disciplina.

Pasados algunos meses de la primera etapa, el objetivo fue intentar identificar indicios de la presencia de visiones epistemológicas contextuales en las discusiones, formas de raciocinio, palabras y actitudes ante las novedades conceptuales y teóricas que iban siendo estudiadas.

Reiteramos que el área de Física de Partículas fue ministrada por el mismo docente de la disciplina (Epistemología y Enseñanza de Física) analizada en la 1ª etapa del estudio exploratorio.

La Física de Partículas

Se puede decir que el conocimiento actual de la Física de Partículas es resumido por el Modelo Estándar. Desarrollado en la década de 70 el Modelo Estándar es una Teoría Cuántica de Campos, consistente con la Mecánica Cuántica y con la Relatividad Especial, que describe interacciones fundamentales de la naturaleza así como las partículas fundamentales (fermiones y bosones) que constituyen toda la materia. Las interacciones fundamentales son cuatro: *gravitacional, electromagnética, fuerte y débil*. Las partículas mediadores de esas interacciones son, respectivamente, *gravitones* (gravitacional), *fotones* (electromagnética), *gluones* (fuerte) y *partículas W y Z* (débil). Las partículas fundamentales son los *leptones* y los *quarks*, por no poseer estructura interna. Las partículas que tienen estructura interna se llaman *hadrones* y se dividen en *bariones* cuando están formadas por tres quarks o tres antiquarks y *mesones* cuando están constituidas por un quark y un antiquark.

Hay seis tipos de leptones (*electrón, muón, tau, neutrino del electrón, neutrino del muón y neutrino del tau*) y seis tipos de quarks (*up, down, charm, strange, bottom y top*). Los quarks tienen una propiedad llamada *color* que puede presentarse en tres variedades (rojo, verde y azul), de modo que hay 18 quarks. Sin embargo, cada partícula tiene su antipartícula, de modo que existirían entonces 12 leptones y 36 quarks.

Así como hay cuatro interacciones y cuatro fuerzas transmitidas por cuatro tipos de partículas mediadoras, se puede decir que hay cuatro cargas (propiedades fundamentales de la materia) que son la carga masa, la carga eléctrica, la carga color y la carga débil. De la misma forma, hay cuatro campos fundamentales: *gravitacional, electromagnético, fuerte* (o sea, el campo de la fuerza fuerte) y *débil* (es decir, el campo de la fuerza débil).

El problema en esa simetría de cuatro cargas, cuatro interacciones, cuatro fuerzas, cuatro partículas mediadores y cuatro campos es que aún no se ha detectado ningún gravitón y la gravedad no se encaja bien en el Modelo Estándar.

Por otro lado, esa teoría (es decir, el Modelo Estándar) predijo la existencia de las partículas W y Z, de los gluones, del quark top y del quark charm antes que esas partículas fuesen observadas experimentalmente. Experimentos en grandes aceleradores de partículas (o “colisores”), como los del Fermilab en Estados Unidos y del CERN en Europa, han confirmado muchas de las previsiones teóricas del Modelo Estándar.

Por otro lado, ese modelo prevé hace mucho tiempo la existencia de una partícula llamada bosón de Higgs que aún no ha sido detectada. Esa partícula prevista teóricamente en 1964 por el físico escocés Peter Higgs explicaría la masa de las partículas W y Z. Hoy se cree que ella explicaría la masa de todas las partículas, o sea, “daría” masa a las partículas. El bosón de Higgs sería, entonces, la partícula mediadora de otro campo fundamental, llamado campo de Higgs, además de los cuatro ya mencionados.

Pero los aceleradores/“colisores” construidos hasta hoy no han sido capaces de llegar a una energía suficientemente alta como para crear/detectar esa partícula.

Se espera que el LHC (Large Hadron Collider) en construcción en el CERN (Laboratorio Europeo para Física de Partículas) que fue puesto a prueba en 2008 y presentó problemas y que será

nuevamente testado en septiembre de 2009 sea capaz de detectar el bosón de Higgs o, quien sabe, bosones de Higgs si hay más de un tipo.

Esta breve introducción sugiere que el Modelo Estándar tal vez sea el ejemplo más paradigmático de la naturaleza tentativa y provisional de la Física Moderna y Contemporánea, en que creatividad, imaginación, intuición, cuestiones de simetría son factores decisivos en la construcción de las teorías y la comprobación experimental viene, muchas veces, años más tarde.

Mediante confirmaciones, la teoría va ganando credibilidad en la comunidad científica y, ante las dificultades, va modificando y mejorando. Es, sin duda, una buena teoría para discutir cuestiones epistemológicas con alumnos o con profesores-alumnos, como es nuestro caso.

La visión de los profesores-alumnos

Al final de este módulo, el trabajo escrito entregado por los profesores-alumnos para fines de evaluación incluyó una cuestión en la que se pedía que comentasen las dificultades del Modelo Estándar, desde una perspectiva epistemológica.

Pasamos a transcribir parte de las respuestas y opiniones de los profesores-alumnos:

- PROF1: *El Modelo Estándar pudo explicar y resolver muchos problemas empíricos. Previó y confirmó la existencia de varias partículas, pero como toda teoría aún tiene problemas (...). Teorías no son definitivas, son buenas en la medida en la que resuelven la mayor cantidad de problemas, se hacen más amplias con la intención de explicar el mundo. (...). La ciencia es una aproximación de lo real.*
- PROF3: *La principal dificultad del modelo es relacionar la gravedad con la Física Cuántica (...). En una visión popperiana, la teoría debe ser corroborada en la práctica. En este enfoque existe la necesidad de detectar el gravitón, el bosón de Higgs y la antimateria prevista por la teoría del Modelo Estándar (...).*
- PROF13: *El estudio de las partículas elementales y de las interacciones explica el Modelo Estándar actual. Pero como la Física no es una ciencia acabada, o sea, sus teorías no son definitivas, se puede decir que el Modelo Estándar que actualmente es aceptado puede más tarde ser refutado por la comunidad científica. Se caracteriza aquí, el criterio de demarcación de la testabilidad o refutabilidad de las teorías científicas de Popper. (...).*
- PROF14: *El “cosismo” y el “choquismo”, muy utilizados en la enseñanza media y en la academia por los profesores con sus alumnos, son obstáculos epistemológicos muy fuertes para el aprendizaje significativo del Modelo Estándar de las partículas elementales, donde a los corpúsculos no se les debía atribuir forma o localización definitiva, por la imposibilidad de observación y por el principio de la indeterminación. (...) La producción y aniquilación de las partículas normalmente se presentan como iguales a los choques elásticos de pequeñas esferas coloridas, como las bolas de billar, con forma y masa definida, lo que impide que los estudiantes formen su propia imagen de las partículas elementales (...).
El Modelo Estándar de las partículas elementales, aunque sea una de las mejores teorías hechas por el hombre (...) no es final o definitiva (...).*
- PROF21: *El Modelo Estándar es una manera encontrada por los científicos para presentar lo que se sabe hoy sobre partículas elementales (...). En la enseñanza del Modelo Estándar, para que haya aprendizaje significativo, debemos tomar el cuidado de no representar las partículas como esferas coloridas chocando unas con las otras y si se representan así hay*

que dejar claro que es apenas un recurso didáctico y que estas partículas podrían ser representadas por cualquier otra figura.

- PROF22: *La existencia del gravitón y del bosón de Higgs son conjeturas que podrán ser refutadas, llevando a una reformulación de la teoría o construcción de una nueva (...). Podemos decir que el Modelo Estándar es lo que Thomas Kuhn llama de paradigma (...). Si fracasan los experimentos que pretenden comprobar la existencia del bosón de Higgs y del gravitón, puede surgir un nuevo paradigma (...).*
- PROF23: *(...) De acuerdo con la epistemología de Karl Popper (...) la existencia del bosón de Higgs y del gravitón son conjeturas que pueden ser refutadas (...). Según Kuhn (...), si los experimentos que buscan la comprobación de la existencia del gravitón y del bosón de Higgs no se confirman, deberá surgir un nuevo paradigma (...). De acuerdo con la epistemología de Laudan, el Modelo Estándar es una óptima teoría, pues ya resolvió varios problemas empíricos.*
- PROF24: *El Modelo Estándar no puede explicar todo... no consigue incluir la gravedad... el bosón de Higgs aún no se ha encontrado... la asimetría materia/antimateria no se explica por el modelo (...). Las existencias del gravitón y del bosón de Higgs, de acuerdo con la epistemología de Karl Popper, son conjeturas. - sigue citando definiciones del texto de apoyo - (...). De acuerdo con la epistemología de Thomas S. Kuhn, el Modelo Estándar es un paradigma (...). - sigue citando definiciones retiradas del texto de apoyo - (...). Según la epistemología de Larry Laudan (...), el gravitón es un problema conceptual y empírico.*
- PROF26: *Creo que la física de partículas está en un momento que Kuhn llamó de ciencia normal, o sea, después de la proposición del modelo de quark, los científicos buscan consolidar del Modelo Estándar (...). Según Laudan, la ciencia da preferencia a las teorías que resuelven el mayor número de problemas empíricos, que es el caso del Modelo Estándar, pues las partículas previstas por el modelo han sido detectadas. (...) La detección del bosón de Higgs ... es más un problema conceptual.*
- PROF28: *El Modelo Estándar intenta describir la naturaleza de la materia, de qué está hecha, cómo se aglutina (...). Una dificultad es encontrar una partícula mediadora que explique por qué las partículas tienen masa... el Bosón de Higgs. En una visión epistemológica el Modelo Estándar rompe con el “modelo clásico” (...). Para entender el Modelo Estándar se deben abandonar las representaciones pictóricas clásicas, pues representan un obstáculo epistemológico.*

De manera general, las manifestaciones de la mayoría de los profesores-alumnos parecen asociar bastante bien las dificultades que detectaron en el Modelo Estándar a las visiones epistemológicas contemporáneas. Cada cual, dando más énfasis a este o a aquel epistemólogo, revela que, aparentemente, algunas semillas de las visiones epistemológicas discutidas en la disciplina de Epistemología y Enseñanza de Física germinaron en la mente de los profesores-alumnos.

Examen minucioso de las afirmaciones y opiniones, sin embargo, muestra que la mitad de los profesores (PROF3, PROF13, PROF22, PROF23 y PROF24) citó o asoció el Modelo Estándar a la epistemología de Popper. Teniendo en cuenta que fue exactamente Popper quien inició el debate epistemológico contemporáneo, o sea, dio inicio a una nueva era en la visión de la naturaleza de la ciencia, o si se prefiere, engendró una ruptura o revolución en los moldes kuhnianos, entonces las afirmaciones parecen indicar que tal ruptura fue lo que más marcó esos profesores.

En otras palabras, sospechamos que el recuerdo de las ideas de Popper puede estar representando el inicio de una transformación en las concepciones marcadamente empiristas-inductivistas de los propios profesores-alumnos inferidas en el estudio exploratorio. Tal vez por eso haya sido el más recordado. De cualquier modo, si eso puede ser considerado como un hallazgo, es

positivo, pues supone un indicio de contribución efectiva de las visiones epistemológicas contemporáneas presentadas, aunque en el caso del PROF23 y PROF24 se pueda afirmar poco, pues tuvieron el cuidado de ser impersonales. Hicieron citaciones con base en los textos de apoyo, pero no expresaron sus propias opiniones.

Los PROF1 y PROF26 parecen haber seguido una línea más pragmática, característica de la visión epistemológica de Laudan, tomando el Modelo Estándar como una teoría eficaz en la resolución de problemas científicos. Nos referimos a la visión pragmática porque ésta es, sabidamente, una tendencia bastante común en las clases de Física de la Enseñanza Media, o sea, una enseñanza bastante centrada en la resolución de problemas. Si así es, el efecto no es menos positivo, pues la propia visión epistemológica de Laudan entiende la ciencia como un gran programa de resolución de problemas científicos; admite la flexibilidad de las teorías; la comparación entre series de teorías de forma que sobrevivan las más eficaces y, por eso mismo, un proceso de evolución de la ciencia abierto, no cumulativo, en construcción. Se supone que los profesores-alumnos la tomaron bajo este prisma.

Los PROF14, PROF21 y PROF28 parecen expresar una toma de conciencia de los problemas que las nociones-obstáculo, en el sentido de Bachelard, pueden producir en la transposición didáctica del Modelo Estándar para la Enseñanza Media. Esa postura sugiere que las visiones epistemológicas contemporáneas, especialmente las discusiones que presenciarnos en clase sobre las nociones de “*cosismo*”, “*choquismo*”, *corpúsculo*¹, etc., contribuyeron de forma positiva para una mayor reflexión de las prácticas docentes de estos profesores. Y más, que ellos se dejaron conquistar por las nuevas ideas y que pasaron a tener, por lo menos, visiones parcialmente alineadas a las visiones epistemológicas contemporáneas, en el sentido de que éstas (las nuevas visiones) parecen haber funcionado como mediadores de posiciones críticas y reflexivas.

Consideraciones finales

Nuestras observaciones de aula, el examen de las participaciones orales y de las tareas escritas realizadas por los profesores-alumnos ofrecen indicios de que la secuencia de las dos disciplinas y la manera de conducir las favoreció una comprensión del Modelo Estándar bajo un prisma epistemológico.

Los hallazgos del análisis de esa experiencia de enseñanza, con base en las opiniones de los profesores, no nos autorizan, sin embargo, a concluir que hubo una transformación acabada de las concepciones epistemológicas y de los principios y conceptos de la Física de Partículas. Pero las cuestiones histórico-epistemológicas aparecen como una posibilidad para que los profesores pasen a discutir esas ideas y conceptos con sus propios alumnos y para que desarrollen un lento e importante proceso de reflexión crítica de sus prácticas didácticas.

Parece fundamental hacer de la práctica educativa un ejercicio constante de vivencias con afectividad (Freire, 2009), con interacción y negociación social (ver en Latour y Woolgar, 1997, como esas interacciones sociales son determinantes en el día a día de los laboratorios científicos más especializados) sin prescindir de la formación científica.

Según Oldoni da Silva y Natti (2007), partículas como *bariones* y *mesones* son estudiadas hasta el momento como paquetes de dos o tres *quarks*, pero ese escenario se alteró recientemente, cuando partículas de tetraquarks y pentaquarks fueron previstas, aunque la existencia de estas

¹ La noción de corpúsculo concebido como cuerpo muy pequeño (es decir, “cosificado”) y la noción de interacción corpuscular concebida como choque (elástico) de dos cuerpos constituyen lo que Bachelard llama de nociones-obstáculo.

partículas esté en debate y dependa de la construcción y operación de nuevos y potentes aceleradores. Así avanza la ciencia, a través de la interdependencia de teoría y experimentación y la *Física de Partículas, en particular la teoría de los quarks, es un bello ejemplo de eso* (Moreira, 2007). Así, también tiene que avanzar la formación científica de los profesores. Parece haber cierto consenso entre los profesores (Oliveira *et al.*, 2007) sobre la inserción de temas de Física Moderna y Contemporánea en la Enseñanza Media.

Sin embargo, hay que tener presente que el cambio es siempre un proceso lento, supone transformaciones de postura, de creencias, de cultura, en última instancia.

Referencias

- BACHELARD, G. (1988). *Filosofia do Não*, Editorial Presença, Lisboa.
- BUNGE, M. (1960). *La ciencia su método y su filosofía*, Ediciones Siglo Veinte, Buenos Aires.
- _____. (1974). *Teoria e Realidade*, Editora Perspectiva, São Paulo.
- _____. (2000). *Física e Filosofia*, Editora Perspectiva, São Paulo.
- FEYERABEND, P. (1975). *Contra o Método*, Rio de Janeiro, Francisco Alves.
- FREIRE, P. (2009). *Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa*, Edição especial, Paz e Terra, São Paulo.
- KUHN, T.S. (1978). *A Estrutura das Revoluções Científicas*, Editora Perspectiva, São Paulo.
- LAKATOS, I. (1993). *Metodología de los Programas de Investigación Científica*, Alianza, Madrid.
- LATOURET, B. e WOOLGAR, S. (1997). *A vida de laboratório: a produção dos fatos científicos*, Relume Dumará, Rio de Janeiro.
- LAUDAN, L. (1977). *El Progreso y sus Problemas*, Encuentro Ediciones, Madrid.
- MOREIRA, M.A. (2007). A física dos quarks e a epistemologia, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Vol. 29, nº 2. p. 161-173.
- OLDONI DA SILVA, C. e NATTI, P.L. (2007). Modelo de quarks e sistemas multi-quarks, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n. 2, p. 175-187.
- OLIVEIRA, F.F., VIANNA, D.M. e GERBASSI, R.S. (2007). Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n. 3, p.447-454.
- POPPER, K. (1982). *Conjecturas e Refutações*, Brasília, Ed. UNB.
- TOULMIN, S. (1977). *La Comprensión Humana*, Madrid, Alianza.

Recebido em: 28/04/09

Aceito em: 14/05/09