



Maestría en Enseñanza Universitaria

Comisión Sectorial de Enseñanza
Área Social y Artística
Consejo de Formación en Educación

TESIS



Una propuesta didáctica basada en un enfoque histórico–epistemológico del experimento de Michelson y Morley y de sus vínculos con la teoría de la relatividad espacial

Alicia Acland

Junio, 2012

ISSN: 2393-7378



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY



comisión sectorial
de enseñanza



Facultad
de Humanidades
y Ciencias de la Educación



Consejo de
Formación en
Educación

Prof. Lic. Alicia Acland

Una propuesta didáctica basada en un enfoque histórico –epistemológico del experimento de Michelson y Morley y de sus vínculos con la teoría de la relatividad espacial.

Universidad de la República
Área Social
Comisión Sectorial de Enseñanza de la Universidad de la República

Tesis presentada con el objetivo de obtener el título de Magíster en Enseñanza Universitaria en el marco del Programa de Especialización y Maestría en Enseñanza Universitaria del Área Social y de la Comisión Sectorial de Enseñanza de la Universidad de la República

Tutor: Dr. Leonardo Levinas

Montevideo, 11 de Junio de 2012

Foto de portada: www.pexels.com



Maestría en Enseñanza Universitaria

Comisión Sectorial de Enseñanza
Área Social y Artística
Consejo de Formación en Educación



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY



comisión sectorial
de enseñanza



Facultad
de Humanidades
y Ciencias de la Educación



Consejo de
Formación en
Educación

Dedicatoria

A todos los que de un modo u otro han colaborado en el proceso que he seguido, apoyándome, discutiendo las ideas y dedicándome sus tiempos personales.

Agradecimientos

A Cassini y Levinas porque su artículo sobre el experimento de Michelson y Morley originó este trabajo.

A la Dra. Mercedes Collazo, a los profesores del IPA y PS, al estudiante de profesorado Roberto Pereira, a la Lic. Mónica Méndez, a la profesora Ana Iglesias y a mi familia.

Especialmente a Leonardo Levinas.

Resumen

Considerando que la enseñanza es una actividad eminentemente práctica que requiere la reflexión y toma de decisiones pedagógicas por parte del docente, en este trabajo presento una propuesta de enseñanza de un tema de física para la formación de docentes de educación media.

La propuesta se basa en un enfoque interdisciplinario que relaciona los aportes de la historia y filosofía de la ciencia (HFC) con los propiamente didácticos de carácter universitario. El contenido específico a ser enseñado es el experimento de Michelson y Morley (M-M) de 1887 y cómo se lo relaciona con la teoría de la relatividad especial. Principalmente tomo como referencia el artículo de Cassini y Levinas (2005), que adjunto al final de los anexos, donde se analiza el experimento de M-M en dos contextos diferentes, uno previo a 1905 y otro posterior. La demarcación se debe a que en dicho año Einstein expuso los principios de la relatividad especial.

Con respecto al marco teórico, en primer lugar presento algunas perspectivas en las que se insiste en la necesidad de que la formación de profesores contenga aportes de la HFC y donde se proponen intervenciones en los planes de estudios y en las prácticas de enseñanza. En segundo lugar, examino algunos aportes recíprocos de la historia, la filosofía de la ciencia y las teorías del cambio conceptual. En tercer lugar, profundizo en las nociones de progreso científico y de holismo semántico aportadas por Kuhn (2002). En último lugar, me dedico a la concepción de experimento crucial (Hacking, 1996; Lakatos, 1989) y al ejemplo del experimento crucial de Michelson y Morley (Kuhn, 2002; Carretero y Levinas, 2000).

En la etapa de investigación, estudio el uso del experimento M-M en relación con la relatividad especial en un contexto específico de enseñanza: la formación de profesores de física en el Instituto de Profesores Artigas (IPA) y en el Profesorado Semipresencial (PS), desde el año 2007 al 2010. A través de una metodología cualitativa analizo los programas de estudio de dos asignaturas específicas (Física Moderna y Física General y Experimental I), los libros de texto que más usan los docentes en estas materias y las entrevistas a docentes a cargo de dichos cursos.

Esta investigación permitió diseñar una propuesta preliminar que fue llevada a la práctica en el IPA durante el año 2011. Su desarrollo y evaluación contribuyeron al rediseño total de la propuesta que aquí presento.

Palabras clave: profesores de física, enseñanza terciaria-universitaria, experimento de Michelson y Morley, relatividad especial

Abstract

Education is considered to be a practical activity that requires constant reflexion and decision making. In this paper I will propose a teaching activity addressed to teachers of Physics of middle education.

This proposal derives from an interdisciplinary approach and aims to correlate the contributions of History and Philosophy of Science (HPS) with those pertaining to University didactics. More specifically, I will focus on 1887 Michelson and Morley's (M-M) experiment to see how it relates to the theory of relativity. My reference point will be the article written by Cassini and Levinas (2005), which can be found attached to the addenda. In said article, the M-M experiment is analysed in the contexts prior to and after 1905, a landmark year in which Einstein proposed the principles of special relativity.

In regard to the theoretical framework, in the first place I present some perspectives that both emphasize the need for HPC contributions to teaching training and propose interventions at curricula and teaching practice levels. Secondly, I examine some mutual contributions from History, Philosophy of Science and theories of conceptual change. Third, I deepen in Khun's notions of scientific progress and semantic holism (2002). Lastly, I will look at the formulation of the crucial experiment (Hacking, 1996; Lakatos, 1989) and the example of the crucial experiment of Michelson and Morley (Kuhn, 2002; Carretero y Levinas, 2000).

During the research stage, I study the use of the M-M experiment in connection with special relativity within a specific teaching context: Physics teacher training at both Instituto de Profesores Artigas (IPA) and Profesorado Semipresencial (blended teacher training) from 2007 to 2010. Through a qualitative methodology, I examine Modern Physics, General Physics and Experimental I syllabuses, the textbooks on these subjects teachers use most frequently, and the interviews to the teachers in charge of such courses.

This research enabled the designing of a preliminary proposal, which was put into practice at the IPA over 2011. The development and evaluation thereof contributed to the thorough redesigning of the proposal I present in this paper.

Key words: Physics teachers, academic teaching, Michelson and Morley experiment, special relativity

1. INTRODUCCIÓN	8
2. MARCO TEÓRICO	14
2.1. Historia, filosofía de la ciencia y enseñanza de las ciencias	18
2.2. Relación entre la historia, la filosofía de la ciencia y las teorías del cambio conceptual.....	22
2.3 El progreso científico desde Kuhn	24
2.4. El holismo semántico	27
2.5. Experimentos cruciales.....	30
2.5.1. El experimento de M-M	35
3. METODOLOGÍA	38
3.1. Recolección de datos	39
3.2. Etapa 1.....	39
3.2.1. Instituciones elegidas: IPA y PS.....	39
3.2.3. Cursos y programas de estudio.....	41
3.3. Etapa 2.....	41
3.3.1. Entrevistas	41
3.3.2. Textos elegidos	44
4. ANÁLISIS	46
5. CONCLUSIONES	53
5.1. Consideraciones finales.....	53
5.2. Propuesta	56
BIBLIOGRAFÍA	65
ANEXOS	70

1. Introducción

El propósito de este trabajo es elaborar una propuesta de nivel terciario-universitario de enseñanza de la física para la formación de docentes de educación media. Consiste en diseñar una estrategia metodológica interdisciplinaria, específica para un determinado contenido de enseñanza; en este caso, el estudio de un experimento particular y su relación con la relatividad especial.

El contenido de enseñanza seleccionado corresponde al experimento de Michelson y Morley (M-M) realizado en 1887 y su relación con la teoría de la relatividad especial. Este experimento, que ha sido considerado “crucial”, en el contexto de enseñanza aparece por lo general estrechamente ligado a la teoría de la relatividad y, también, según veremos en algunos casos, al electromagnetismo clásico.

La propuesta se estructura a partir de aportes interdisciplinarios de la historia y filosofía de la ciencia (HFC) y del campo de la didáctica específica, es decir, la didáctica de la física. De esta forma, mi intención es que dicha propuesta trascienda la mera acumulación de contenidos, involucre cuestiones epistemológicas y propuestas metodológicas.

Para su elaboración, por un lado, realicé indagaciones de orden teórico y, por otro, recabé información acerca del contexto de enseñanza elegido, más precisamente, dos instituciones públicas en Uruguay de formación de profesores de educación media:¹ el Instituto de Profesores Artigas (IPA) y el Profesorado Semipresencial (PS).² En

1 La estructura del sistema educativo uruguayo se puede consultar en Anexo I.

2 Actualmente las instituciones públicas de formación docente en el país son: el IPA (Montevideo), encargado de formar profesores de nivel medio (general), el Instituto Normal de Enseñanza Técnica (INET) (Montevideo) forma maestros técnicos especializados, los Institutos Normales (IINN) (Montevideo) que forman maestros de educación inicial y primaria y los Institutos de Formación Docente (IFD) (en varias ciudades del interior) donde, por un lado, se forman maestros y, por otro, los estudiantes de profesorado pueden cursar las asignaturas de formación común (núcleo de formación profesional común), si se inscriben en el Profesorado Semipresencial (PS). Esta última posibilidad les permite estudiar, sin necesidad de trasladarse a Montevideo, a través de la modalidad a distancia por medio de la plataforma Moodle y, a su vez, con encuentros presenciales en diferentes sedes ubicadas según las regiones.

cuanto a los planes de estudio, seleccioné el Plan 1986 y el período que va entre los años 2007 y 2010, por motivos que detallo más adelante.

El Plan 1986 comenzó a elaborarse en ese año y se aplicó en 1987. En 1989 fue reajustado en relación con la enseñanza por áreas que se implementó en el Ciclo Básico Único³ y estuvo vigente hasta el año 2008. Este plan propuso, por un lado, un conjunto de asignaturas “específicas” y, por otro, asignaturas vinculadas con las ciencias de la educación, denominadas “generales”. La materia “Didáctica Especial-Práctica docente”, que pertenece a las asignaturas específicas, forma una unidad y ha oficiado de bisagra entre los dos conjuntos. La práctica docente se realiza en instituciones de educación secundaria o de enseñanza técnica, que dependen de la Administración Nacional de Educación Pública (ANEP) y del Consejo Directivo Central (CODICEN).

Actualmente, el IPA y el PS se rigen por el Plan 2008, que a su vez tiene carácter nacional, es decir, se aplica en todos los institutos de formación de docentes del país. Este plan contempla en el curso de cuarto año de la formación de profesores de física una asignatura denominada “Espacio Interdisciplinario”. Esta se ha implementado en el IPA durante el año 2011 sobre la base de un proyecto⁴ que elaboré y fue aprobado por el Consejo de Formación en Educación (CFE). El proyecto es un antecedente de la propuesta que plantearé en esta instancia. Dicha asignatura me dio una visión complementaria a las investigaciones teóricas desde el propio contexto de enseñanza.

Además, están los Centros Regionales de Profesores (CERP) (en el interior del país), donde también se forman profesores de educación secundaria. En cuanto a la oferta de enseñanza privada de docentes, existen profesorado de matemáticas, informática y otras disciplinas, así como formación de maestros de inicial y primaria. No hay profesorado de física a nivel privado.

3 El 8/01/1986 se estableció por parte de ANEP (Administración Nacional de Educación Pública), CODICEN (Consejo Directivo Central), el Ciclo Básico Único (CBU) de la Educación Media. El CBU es un plan de estudios que abarca los tres primeros años de la educación media en el país. A través de este, se extendió el nivel de obligatoriedad de la educación al primer ciclo del nivel medio. Ver Anexo I

4 El proyecto se denomina “Propuesta dirigida a la implementación de la asignatura Seminario: Proyecto Interdisciplinario (2010)”. Entre los objetivos propongo a los estudiantes la posibilidad de examinar interdisciplinariamente el conocimiento físico, a través de la historia y filosofía de la física. Esta disciplina les permiten aproximarse desde la interdisciplinariedad al contexto de producción de conocimiento en el cual aparecen las dificultades y problemas a ser o no resueltos. La estrategia de enseñanza se apoya en el trabajo de Cassini y Levinas (2005). La evaluación se ajusta a la reglamentación del Plan 2008. El documento se puede ver en el Anexo II.

Para el año 2012 presenté un segundo proyecto, que también fue aprobado (como lo estipula el reglamento del Plan 2008) por la salas del IPA y el PS⁵ del Departamento de Física y elevado a la directora del IPA y a la encargada de gestión del PS.

Con fines expositivos este trabajo se organiza de aquí en más en cuatro apartados. El primero se dedica a la investigación teórica, el segundo a metodología e investigación contextual, el tercero a análisis de los datos y el último a las conclusiones e incluye las consideraciones finales y la propuesta de enseñanza. A pesar de la linealidad de la presentación, las etapas de esta investigación se han entrelazado en su orden y en el tiempo, muchas veces volví hacia atrás para revisarlas. Se podría decir que realicé un movimiento en espiral, en el cual se vuelve sobre los registros con vista a avanzar en la propuesta.

Características de la investigación

Objetivos

Objetivos generales:

- desarrollar una propuesta alternativa de la enseñanza de las ciencias que tenga en cuenta los procesos que se han dado en los ámbitos de la producción de los correspondientes conocimientos. Para ello:
 - demostrar la necesidad de que los profesores superemos la práctica esquemática y limitadora de introducir conocimientos recurriendo exclusivamente a libros de textos, a generalizaciones empíricas y a la presuposición de que las teorías científicas se imponen a partir de los resultados de determinados experimentos considerados “cruciales”

Objetivos específicos:

- examinar cómo se considera en la actualidad el experimento crucial M-M al

⁵ Se denominan “salas” a las reuniones de los profesores de una institución que pertenecen al mismo departamento. En dichas reuniones se discuten y resuelven problemas vinculados a las tres actividades institucionales: extensión, investigación y docencia.

enseñar la relatividad especial, en un contexto específico de enseñanza: IPA y PS, dos instituciones públicas de formación de profesores de educación media en Uruguay

- estudiar desde la historia y filosofía de la ciencia (HFC) el rol que este experimento ha tenido en el contexto anterior y posterior a 1905 (año en que Einstein introduce los principios de la relatividad especial)
- elaborar una estrategia de enseñanza interdisciplinaria en la que intervengan la física, la historia y filosofía de la ciencia y la didáctica de física, para que los estudiantes (futuros profesores de física) puedan acceder y comprender la relación entre un experimento que ha sido considerado “crucial” (M-M) y la relatividad especial

Resulta fundamental que, a los efectos de introducir una teoría científica y proponer cómo enseñarla, se atienda a cuáles fueron los procesos cognitivos que condujeron a ella, para lo cual debe tratarse la problemática del conocimiento mismo. Por eso, en estos objetivos subyace la concepción de Giroux (1990) de que es necesario considerar que el conocimiento, en cuanto nexos de mediación en las instituciones educativas, debe tratarse como algo en sí mismo problemático y, en este sentido, debe ser objeto de estudio.

Como ya mencioné, elegí estudiar el experimento de Michelson y Morley de 1887 y su relación con la teoría de la relatividad especial como contenido de enseñanza, concretamente, en la formación de profesores de física de educación media en Uruguay. Para ello, me centro en el Plan 1986 y en el período que va entre los años 2007 y 2010.

Un plan de estudios es en palabras de Ickowicz, Iuri y Trincheri (2006: 49):

un documento curricular en el que se seleccionan y organizan, con unidad y coherencia, las materias (o asignaturas o disciplinas) con sus contenidos mínimos y los formatos que le son propios (seminarios, talleres, asignaturas, etc.) experiencias (pasantías, trabajos de campo de tesis, etc.) que garantizan una formación académica y/o profesional necesaria para alcanzar la titulación en un área de conocimientos. Incluye además requisitos de ingreso para el cursado de la carrera, tipo de título a otorgar, incumbencias del mismo, regímenes de cursado y correlatividades entre asignaturas. En las últimas dos décadas se incluye una fundamentación de la carrera y los objetivos que la presiden en su organización y alcance, así como también el perfil de egresado que se espera plasmar.

El presupuesto de este trabajo es que las estrategias de enseñanza que se adopten con la finalidad de que los estudiantes aprendan ciertos contenidos específicos deben relacionarse con los procesos de producción de dichos contenidos. Esto no quiere decir que todos los temas deban ser enseñados unidos al desarrollo histórico y filosófico que hayan tenido, sino que los profesores, en su formación básica, deben adquirir ciertas herramientas de reflexión sobre la producción del conocimiento que van a enseñar.

Los textos de enseñanza de física utilizados en el contexto estudiado presentan la misma estructura organizativa para exponer cualquier tema, ya sea mecánica clásica, electromagnetismo, termodinámica. Hemos vivido como lectores, docentes y estudiantes este fenómeno: primero se presenta la teoría a ser transmitida y a continuación ejercicios de cálculo y preguntas cualitativas para que el lector comprenda el contenido de la teoría. Parto de la base de que este mecanismo no conduce a una “buena enseñanza”, pues se transmiten contenidos de forma tal que se reniega de los procesos cognitivos que tuvieron lugar y que involucran el problema de lo que se entiende, en cada caso, por “verdad científica”.

Este problema, que existe en el amplio contexto de enseñanza terciaria y universitaria, lleva a que los sujetos que adquieren conocimiento en este ámbito se nutran de contenidos, según Chevallard (1997), transformados para ser enseñados.

Los contenidos disciplinares que se enseñan en el profesorado merecen, en mi opinión, una cuidadosa revisión, sobre todo, respecto a su selección. De esta reflexión surgen dos preguntas: ¿cuáles son las cuestiones básicas que se pueden destacar de la forma de producción de conocimiento científico? y ¿cuáles son las que caracterizan al conocimiento enseñado?

Al igual que Levinas (1998), considero que la producción de conocimiento y su enseñanza presuponen dos prácticas sociales diferenciadas. En este trabajo también considero que en el nivel superior dichas prácticas sociales deberían tender a yuxtaponerse, por lo menos en parte, para que el profesor se forme en un contexto crítico, en el cual el conocimiento no sea tomado como algo dado, acabado. En este sentido, creo que la historia y filosofía de la ciencia ofrece posibilidades

interdisciplinarias de intervención en la enseñanza.

Este trabajo puede contribuir a la reflexión y discusión sobre el tema entre los profesores en general y, en especial, entre los que forman a los profesores de educación media. Recientemente en el “Encuentro Nacional de Profesores de Física” del año 2009, estos temas fueron tratados en actividades de taller.⁶

En mi opinión, una investigación que describa la perspectiva de los profesores involucrados en el contexto de enseñanza de formación docente puede intervenir en un cambio que promueva la reflexión de los contenidos de enseñanza desde el contexto de producción de conocimiento.

⁶ Estas actividades se pueden ver en el sitio de la Asociación de Profesores de Física del Uruguay (APFU): <http://apfu.fisica.edu.uy/>

2. Marco teórico

El marco teórico recoge aportes interdisciplinarios de la historia y filosofía de la ciencia y de física, así como de la enseñanza de la física, entendiendo que todas, incluida la física en tanto práctica científica, se encuentran insertas en el campo más amplio de las ciencias sociales.

La cuestión de la enseñanza terciaria-universitaria es de interés de todos, ya que incide en el conjunto de la sociedad, así como esta incide en aquella. El sentido político de la educación se resuelve siempre entre dos polos: la educación como función social determinante o la sociedad como elemento fundamental de lo educativo. Así ha ocurrido con las teorías pedagógicas desde la modernidad.

Coincido con Libaneo (1991) en que la didáctica general y específica se inscriben en un marco teórico pedagógico y, por lo tanto, en que la didáctica de la física es también una actividad humana esencialmente social y política.

La formación de profesores es central con respecto a cómo se distribuye el conocimiento a través del proceso de escolarización que ejerce el sistema educativo en su conjunto. En las situaciones concretas en el aula, las relaciones entre docentes, estudiantes y contenidos de enseñanza cobran importancia en el sentido de que se prolongan a las nuevas generaciones. Es y ha sido preocupación de los profesores el carácter reproductor social y cultural que ejercen los sistemas educativos. Este hecho es bien señalado en las corrientes pedagógicas críticas (Giroux, 1990).

Como ya he expresado los contenidos del saber a ser enseñados son el centro del presente trabajo. Si bien otros aspectos de la situación educativa deben ser considerados, aquí no serán tratados. El énfasis está en un aspecto local de la teoría pedagógica⁷ que oficia de marco más general, y no es menor, ya que involucra uno

⁷ El término “teoría pedagógica” hace referencia a la caracterización realizada por Ayuste y Trilla (2005).

de los cometidos de la enseñanza específica: el propio saber a ser enseñado.

El punto de vista que orienta la argumentación de mi propuesta de enseñanza es tomado de Levinas (1998). Este autor señala que los contenidos del saber seleccionados para ser enseñados y el sujeto de aprendizaje (componentes del contexto de enseñanza) mantienen una relación cognitivamente diferente de la que se establece, en el contexto de producción de conocimientos, entre los contenidos de saber implicados y el sujeto de conocimiento científico. Difieren en el conocimiento (contenido del saber) y en el tipo de prácticas sociales que experimentan. Mientras que el sujeto de conocimiento científico puede ejercer prácticas sociales críticas, al sujeto del aprendizaje se le manifiesta el contexto de enseñanza sin posibilidades para semejantes prácticas sociales. Incluso el estudiante puede llegar a no cuestionar ni comprender el conocimiento. Según Levinas (1998: 6):

resulta fundamental atender al hecho de que si bien para el sujeto de conocimiento científico el contenido del saber resulta cambiante (básicamente porque la experiencia muestra que históricamente las teorías se han visto modificadas, a veces de manera drástica) en cambio, al sujeto de aprendizaje las ciencias se les aparecen como si ellas estuviesen compuestas de una aglomeración de contenidos inobjetables. El primer sujeto, que trabaja en el marco de la investigación, dispone, en principio, de la posibilidad de lo crítico, puede ser creativo e incluso rupturista. En el sujeto del aprendizaje, en cambio, es factible involucrar una actitud que manifieste una sumisión frente a lo ya dado y admitido en el otro ámbito, o sea en el científico. Incluso este ámbito se puede presentar indescifrable.

Dichas palabras expresan interés por estudiar los contenidos de enseñanza desde perspectivas que involucran a las ciencias sociales y a las naturales. Por su parte, desde las ciencias sociales, Carranza (2010: 3) entiende que “es frecuente admitir que el conocimiento se halla socialmente distribuido y que hay brechas de conocimiento entre diferentes tipos de actores sociales, lo cual manifiesta relaciones de poder”.

El conocimiento es uno de los medios necesarios para la vida; sin embargo, es distribuido desigualmente, tanto en el contexto de producción como en el de enseñanza. En uno predomina la generación y en el otro su reproducción. Es así que se puede inferir de las ideas precedentes que el conocimiento seleccionado para ser enseñado (que de hecho figura en todos los programas de física moderna de los profesorado de física) constituye un aspecto problemático en la enseñanza de física a nivel terciario-universitario.

Las prácticas de enseñanza institucionalizadas son “construcciones discursivas” que se dan en las aulas y tienen consecuencias vitales para los sujetos y para la especie humana, como ya sostenía Dewey (1953). Según Lemke (1997) son discursos que se elaboran, en parte, en los textos de estudio en los que aprenden los docentes y se trasladan a las aulas de enseñanza secundaria (básica y media) y técnica. Dentro de la vida en el grupo-clase (Souto, 1993) las construcciones discursivas en los procesos de enseñanza determinan formas de adquirir conocimiento e influyen en los desarrollos cognitivos de los sujetos de aprendizaje.

El estudio de las construcciones discursivas que circulan en las aulas no debe desconocer agentes sociales que influyen mucho más que los libros de texto y las instancias de clase, como los medios de comunicación masiva. No obstante, en este trabajo no se abordará específicamente este punto.

La forma en que se secuencian los contenidos de enseñanza incide en la formación de los estudiantes. Quienes investigan cómo se transmiten las relaciones de poder en la sociedad enfatizan que el discurso científico de divulgación es uno de los principales medios, especialmente, el que se imparte en las aulas.

El conocimiento, como ya se mencionó, no se distribuye de manera homogénea, sino que en las aulas se despoja de la faceta creativa propia de quienes lo producen, son conocimientos diferentes los de unos (contexto de enseñanza) y los de otros (contexto de producción). Desde los estudios sociales de la ciencia, se entiende que en las aulas se transmite cierta ideología que, por un lado, distorsiona el conocimiento científico, lo aleja del proceso de su creación y, por otro, lo transforma en algo dado e inmutable.

Es indudable que la vida dentro de las instituciones educativas incide en los estudiantes y profesores en sus modos de pensar. Van Dijk (1994) señala que en la sociedad actual se ejerce un tipo de poder que no se visualiza fácilmente si no hacemos el esfuerzo de analizar las situaciones para lograr desestructurarlas y develar el control que ese poder opera sobre las mentes y cuerpos. En este sentido, mi interés se orienta hacia los estudios sobre el cambio conceptual. En sus palabras,

el poder moderno es el que se ejerce por medio del <<control mental>>, esta es la manera indirecta de controlar los actos de otros. El poder moderno consiste en influenciar a los otros por medio de la persuasión para lograr que hagan lo que se quiere. Los grupos que tienen acceso a esas formas de poder y de control social son generalmente grupos que han sido legitimados y tienen a su vez acceso al discurso público. Esto es lo que en Gramsci se conoce como hegemonía (pp. 10-11).

Desde esta perspectiva, los profesores son un grupo legitimado que tiene acceso al ejercicio de ciertas formas de poder, aunque los individuos en particular no sean conscientes. Según Hacking (1996), el contexto científico está ligado a tres actividades humanas que no siempre colaboran armónicamente: la especulativa, el cálculo y la experimentación. Estas tres definen la tarea científica. Si los estudiantes acceden solo a una postura científica, que jerarquiza alguno de estos tres componentes de la ciencia como actividad humana, se les limita el acceso al discurso científico. Por ejemplo, si al experimento de M-M se lo enseña como fundamento de la teoría de la relatividad especial, se utiliza un código restringido que conduce a la creencia de que el experimento produce teoría.

De esta manera, pienso que se priva a los estudiantes de aprender otros códigos, como los aportes generados por los estudios metacientíficos contemporáneos. La respuesta a cómo consideramos la producción de conocimiento puede simplificarse al grado de dar una sola o puede complejizarse de modo que el que aprende utilice diferentes códigos lingüísticos.

Van Dijk (1994: 14) considera que “el poder está directamente ejercido y expresado a través del acceso diferencial a diversos géneros, contenidos y discursos. Y aquí la noción de acceso es muy importante, pues en los grupos dominados el acceso a gran variedad de discursos es limitado”.

Si la práctica de los profesores de física en las aulas se redirige hacia un análisis crítico del discurso, estos deberían adquirir en sus procesos de formación los contenidos de física de manera tal que pudieran generar una mayor variedad de discursos en el grupo-clase.

2.1. Historia, filosofía de la ciencia y enseñanza de las ciencias

El trabajo de Levinas y Carretero (2010) abre la discusión sobre las implicancias que en la enseñanza de las ciencias, en especial de las ciencias físicas, tiene el hecho de analizar los denominados experimentos cruciales desde los aportes de la historia y filosofía de la ciencia (HFC), estudiar el cambio conceptual y los presupuestos (hipótesis auxiliares) que están presentes en cada caso.

Los antecedentes que promueven la interdisciplinariedad entre HFC y enseñanza de las ciencias en Uruguay provienen de la Unidad de Enseñanza de Facultad de Ingeniería, donde se viene desarrollando un programa de investigación relacionado con las concepciones de ciencia y las prácticas de enseñanza en el nivel universitario. En este marco, Loureiro (2011), en su tesis “Análisis de las concepciones de ciencia que subyacen a los procesos educativos en el área científico-tecnológica”, concluye que los estudiantes que ingresan a la universidad tienen concepciones de la ciencia muy alejadas de las contemporáneas. Encontró diferencias entre los estudiantes que estaban en etapas avanzadas y los que recién ingresaban. Por su parte, los docentes que participaron en la investigación manifestaron en su discurso concepciones contemporáneas que no fueron observadas en sus prácticas de enseñanza. En relación con las clases, Loureiro (2011: 149) expresa que

se pudo observar que en las clases teóricas, independientemente de la altura de la carrera donde se imparte el curso, el planteo metodológico predominante es el expositivo. En todos los casos observados predomina la participación docente y en la mayoría no se observa una propuesta clara para promover la participación de los estudiantes en clase. Se trabajan fundamentalmente contenidos conceptuales, los cuales son presentados por el docente. En general, no se promueve el trabajo colectivo ni se proponen situaciones que partan de las opiniones, intereses, etc., de los estudiantes. Estos asumen un rol pasivo de mera recepción pasiva de las tareas impuestas por el profesor. No se aprovechan las instancias de participación estudiantil para colectivizar dudas, preguntas o propuestas de otros compañeros.

Los aspectos señalados por esta autora también tienen relación con la formación de profesores de enseñanza secundaria, pues los estudiantes universitarios transitaban por dicho nivel de educación. En Uruguay, los estudiantes que llegan al nivel terciario-universitario, en su pasaje por la educación media, han tenido profesores que egresaron del IPA (así como del CERP), pero también profesores que no son egresados de un centro de formación docente, muchos provienen de la UdelaR (Universidad de la República), tanto titulados como estudiantes.



Por su parte, en esta línea, Matthews (1991, 1994) plantea que los sujetos después de culminar estudios en física, que les habiliten a enseñar en instituciones de enseñanza secundaria (básica y media), mantienen concepciones de la ciencia que no se relacionan con las producciones contemporáneas de la HFC. En el año 1994, cuando analizaba los planes de educación científica en Gran Bretaña comentaba que:

los defensores de la HFC en la enseñanza de las ciencias están defendiendo, de algún modo, una versión <<contextualizada>> de la enseñanza de las ciencias. Es decir, una enseñanza de las ciencias que enseñe ciencias en su contexto social, histórico, filosófico, ético y tecnológico. En parte, esto es una reelaboración del viejo argumento: la enseñanza de las ciencias debería ser una enseñanza sobre la ciencia, así como en la ciencia. Usando la terminología del currículo nacional británico, los estudiantes de ciencias en la secundaria deberían aprender algo sobre «la naturaleza de la ciencia>>, así como el contenido de la ciencia propiamente dicha (Matthews, 1994: 256).

Otra investigación que se relaciona con mi objeto de estudio es la realizada por Pérez (2003): “La teoría de la relatividad y su didáctica en el bachillerato, análisis de sus dificultades y tratamiento”, donde describe las dificultades detectadas por investigaciones anteriores a la de él, que están vigentes al momento de su investigación. Según Pérez (2003: 12),

[Gil, Senent y Solbes, 1986] presentaron un amplio estudio acerca de la introducción de la física moderna en la educación secundaria. Las hipótesis de partida enunciaban: a) que su enseñanza viene caracterizada por una introducción desestructurada, que mezcla las concepciones clásicas y modernas, que no muestra la existencia de una clara ruptura entre ambas, que no deja clara la existencia de dificultades insuperables que originaron la crisis de la física clásica, y que no diferencia entre ambas ni señala los límites de validez de la clásica; b) hay presencia de abundantes errores conceptuales en los textos; c) los alumnos no logran una mínima comprensión de los conceptos e ideas de la física moderna. Estas hipótesis fueron confirmadas plenamente mediante un trabajo experimental, que incluyó la revisión sistemática de 42 textos y cuestionarios a 347 alumnos. Obtuvieron valores superiores al 80% acerca de aspectos tan relevantes como el desconocimiento de la crisis de la física clásica o la escasa comprensión de conceptos, algunos tan básicos como el carácter límite de la velocidad de la luz.

Diferentes grupos de investigadores en el tema de los contenidos de enseñanza concluyen que lo esencial está en la propia formación de los profesores de física. Entre ellos, Carrascosa y otros (2008) entienden que el mínimo requisito que tendría que exigirse a quien enseña es conocer los contenidos y que esto no implica solamente saber cómo reproducirlos. Señalan que el problema radica en los tipos de contenidos seleccionados y que esto depende del carácter histórico epistemológico, de los obstáculos epistemológicos y de la forma en que los científicos abordan los problemas. Para Carrascosa y otros (2008: 120) no alcanza con conocer la asignatura,

en sus palabras:

es preciso llamar la atención sobre el hecho de que algo tan aparentemente claro y homogéneo como conocer el contenido de la asignatura a enseñar implica unos conocimientos profesionales muy diversos, que van más allá de lo que se suele contemplar habitualmente en los cursos universitarios de la licenciatura (Gil, Carrascosa et al, 1991; Furió, 1994), tales como:

- tener conocimientos de la historia de las ideas científicas, útiles para contribuir a una mejor enseñanza de la asignatura. Conocer los problemas que dieron lugar a la construcción de los conocimientos científicos (sin lo cual dichos conocimientos aparecen como construcciones arbitrarias) y cómo estos llegaron a articularse en cuerpos coherentes. Conocer, en particular, los obstáculos epistemológicos (lo que constituye una ayuda imprescindible para comprender muchas de las dificultades de los alumnos).
- conocer las estrategias metodológicas empleadas en la construcción de los conocimientos, es decir, la forma en que los científicos abordan los problemas, las características más notables de su actividad, los criterios de aceptación y validación de las teorías científicas, etc. Sin ello, no se puede transmitir a los alumnos la pasión de la ciencia como aventura del pensamiento.

La preocupación por los conocimientos que tienen que adquirir los profesores es bastante generalizada. En otra investigación sobre la misma temática, Fernandes Trindade (2008) presenta algunas intervenciones que se han realizado, con la finalidad de modificar la calificación de los docentes en formación, por ejemplo, introducir cambios en los planes de estudio. Con estos se busca que los docentes adquieran una visión del conocimiento científico ligada al contexto de producción. La alternativa consiste en introducir en el plan de estudios la asignatura Historia de la Ciencia. Según el autor,

O objetivo do ensino da História da Ciência, em um curso de formação de professores, não é descrever a história ou acumular conhecimento sobre a história, mas propiciar uma análise crítica das condições da criação e apropriação do conhecimento científico pelas diversas culturas e atestar que tal conhecimento está sujeito a transformações. Além disso, essa disciplina deve propiciar questionamentos... (Fernandes Trindade, 2008: 7).

En Uruguay, en la formación de profesores de Física (Plan 1986) los estudiantes acceden a reflexiones epistemológicas recién en cuarto año, en una asignatura que generalmente es dictada por profesores o maestros con formación filosófica, pero que no han estado en contacto directo con la enseñanza y aprendizaje del contenido específico, es decir, la disciplina física. En el Plan 1986 no figura ninguna asignatura dirigida a profundizar en la producción de conocimiento específico. En los años 2006 y 2007 se ha discutido y elaborado un nuevo plan nacional de estudios (Plan 2008)⁸ y

⁸ El Plan 1986 y el Plan Único Nacional de Formación Docente (PUNFD) o Plan 2008 se pueden ver en <http://www.cfe.edu.uy>.

la introducción de la historia y filosofía de las ciencias físicas no fue objeto de discusión. Sin embargo, desde hace décadas viene siendo discutido en congresos internacionales de la región.

En otras investigaciones realizadas en la región, como las de Terrazzan (1992); Arriasecq y Greca (2005), se plantea que si se quiere introducir la enseñanza de la relatividad especial a nivel medio es fundamental que los docentes en su proceso de formación aprendan los temas con aportes de la HFC. Al respecto, Arriasecq y Greca (2005: 22-23) entienden que si se atiende a

las características de la etapa que hoy transita la educación en Argentina, no es un hecho menor lograr mantener el interés del alumno en un tema de Física. Obviamente que sólo con eso no alcanza, ya que aunque también exista una fuerte predisposición del docente para abordar un tema, es necesario que éste posea una adecuada formación en el mismo. Si esto no ocurre, como parecen mostrar los resultados de nuestros estudios, recurre al libro de texto, por lo general del mismo nivel que utilizan los alumnos. Como ya hemos señalado, los textos disponibles para los profesores en Argentina reproducen de manera sintetizada sólo los aspectos técnicos o matemáticos de los textos universitarios sin analizar los aspectos conceptuales clave para un abordaje que permita un aprendizaje significativo por parte de los alumnos de, al menos, los elementos más relevantes que constituyen los fundamentos y consecuencias de la TER [Teoría Especial de la Relatividad]. Partiendo de esta realidad y del presupuesto que es posible y necesario realizar, en el nivel medio/polimodal de enseñanza, una introducción de contenidos de Física contextualizada, apropiada desde el punto de vista conceptual y motivante para propiciar un aprendizaje significativo en los estudiantes, parece ser necesario la elaboración de material didáctico que podrían utilizar tanto docentes como alumnos. Este material debería presentar una discusión profunda de los aspectos conceptuales relevantes de la TER a partir de los aportes de investigaciones en el área de enseñanza de la física. De esta forma se podría cubrir la brecha entre “querer” abordar un tema nuevo y “contar con los recursos necesarios para hacerlo”.

Una de las investigaciones, con carácter interdisciplinario, relacionada con la HFC en la formación de profesores de física y en posgrados para profesores de esta disciplina en Brasil, es la de Massoni y Moreira (2010). Dicha investigación se llevó a cabo en tres fases. Durante la primera fase analizaron cómo incidía la introducción de una asignatura con contenidos de HFC,⁹ al final de la carrera, en las creencias de los futuros docentes de física sobre la producción de conocimiento científico.¹⁰ En esta fase concluyen que una ganancia conceptual había sido evidente en la mayoría de los estudiantes.

9 Mantengo la sigla HFC con una finalidad simplificadora de la cuestión, aunque los autores la denominan historia y epistemología de la ciencia.

10 También en el último tramo de la formación de profesores en Uruguay en los planes analizados se imparte una asignatura con dichos contenidos.

En la segunda fase se centraron en la formación de posgrado,¹¹ luego de impartir una asignatura de HFC que profundiza la anterior. Estudiaron la contribución de las “visiones epistemológicas contemporáneas” en la transformación de las concepciones de profesores de física ya actuantes. Los resultados obtenidos marcaron una incidencia en las concepciones anteriores de los profesores; sin embargo, los investigadores enfatizan que no saben cómo incidirá en las prácticas de enseñanza, ya que estas están muy arraigadas en docentes con años de ejercicio.

En la tercera fase sostienen como supuesto básico que la formación en HFC incide en las prácticas de enseñanza. Estudiaron las prácticas de enseñanza de un docente que había transitado las dos fases anteriores con una actuación destacada. Massoni y Moreira (2010: 305) concluyen que “la inclusión de estrategias y elementos con el objetivo de preparar tanto profesores como alumnos para un mejor y más efectivo entendimiento de la naturaleza de la ciencia es aún un proceso incipiente y probablemente de largo plazo”.

Dicha conclusión se fundamenta, por un lado, en el carácter aislado de las prácticas de enseñanza estudiadas y, por otro lado, en que también los profesores de otras asignaturas mantienen concepciones no contemporáneas de la ciencia que enseñan. Los autores consideran que el cambio en una sola asignatura no es significativo.

2.2. Relación entre la historia, la filosofía de la ciencia y las teorías del cambio conceptual

Las teorías del cambio conceptual, originadas en la psicología evolutiva y en la enseñanza de las ciencias, han mostrado y siguen mostrando una diversidad de posturas.

Desde la HFC se han utilizado teorías del aprendizaje como lo expresa el mismo Kuhn al citar a Piaget durante una entrevista que le realizaron en Atenas en 1995,

¹¹ Postgrado Profesional en Enseñanza de Física de la UFRGS (Universidade Federal de Rio Grande do Sul).

publicada posteriormente. En ella expresa:

Fue en esos años –no recuerdo cómo llegué a ello, quizá leyendo la tesis de Merton- cuando, de una forma u otra, pienso que fue entonces cuando descubrí a Piaget. Y leí un montón de cosas suyas, empezando por su *Mouvement et vitesse*. Y pensaba todo el rato ¡madre mía!, estos niños desarrollan las ideas del mismo modo que los científicos, salvo –y esto es algo que me pareció que ni siquiera el mismo Piaget lo entendía del todo, y no estoy seguro de que yo me diera cuenta pronto– que se lo están enseñando, les están socializando, no es un aprendizaje espontáneo, aprenden lo que ya está disponible. Y esto era importante (Kuhn, 2002: 325).

En sentido inverso, Posner *et al* (1982) utilizan una teoría del aprendizaje, del cambio conceptual, de forma análoga al desarrollo o evolución de las teorías científicas según Kuhn en *Estructura de las revoluciones científicas*. Por su parte, Carretero (1996: 37) realiza una clasificación de las teorías sobre el cambio conceptual y muestra en qué casos se asume que los cambios en los esquemas de pensamiento se puedan dar por medio de procesos de enseñanza.

Según Özdemir y Clark (2007), los autores Strike y Posner (1992, *apud* Özdemir y Clark, 2007) expresan el cambio conceptual asumiendo una nueva analogía apoyada en una visión evolucionista de la ciencia.

This theory of conceptual change is embedded in a set of epistemological assumptions that are far more generalizable than our application to misconceptions has exploited. These epistemological assumptions suggest that the basic problem of understanding cognitive development is to understand how the components of an individual's conceptual ecology interact and develop and how the conceptual ecology interacts with experience (Özdemir & Clark, 2007: 352-353).

Para Strike y Posner (1992 *apud* Özdemir y Clark, 2007) el aprendizaje es considerado una ecología conceptual: las concepciones son interdependientes, las ideas constitutivas son categorías ontológicas que interactúan con nuevas ideas y problemas, en una dinámica similar a las interacciones de un ecosistema.

En uno de sus trabajos Mellado y Carracedo (1993) sistematizan diferentes corrientes de la HFC del siglo XX y las comparan con las teorías del aprendizaje de las ciencias. Desde estas últimas analizan diversas posiciones de las denominadas corrientes del “cambio conceptual”. Siguiendo a Kuhn (1989) (revolucionismo, para los autores, es sinónimo de revolución científica) se interesan por los cambios de teoría en los científicos, porque dichos procesos pueden elucidar el cambio

conceptual en los estudiantes de ciencias.

2.3 El progreso científico desde Kuhn

Una de las contribuciones de Kuhn (1989, 2002) es su concepción del progreso de la ciencia como proceso no siempre acumulativo. Para él hay dos tipos de desarrollo científico: el normal (al que denomino modo 1)¹² y el revolucionario (modo 2). Estos tipos fueron descritos ya en 1962 en su reconocida obra *La estructura de las revoluciones científicas*, revisada posteriormente (2002). En el primer modo, la ciencia es acumulativa con respecto a lo que se conocía antes, se completan las teorías, se van solucionando enigmas, se establecen relaciones aditivas entre los conceptos existentes e incluso van quedando anomalías, problemas sin resolver. En el segundo modo, se producen cambios profundos en la estructura de las teorías y, aunque se mantengan, los términos científicos no tienen el mismo significado, se produce una revolución científica. En la ciencia como institución coexisten los dos modos, así como dentro del modo normal (modo 1) coexisten diferentes teorías.

Un ejemplo del modo 1 en Kuhn es la ley de Boyle. En el contexto histórico de los trabajos de Boyle, la “presión” y el “volumen” eran <variables ya comprendidas>, por lo tanto, la relación entre ellas en determinadas condiciones agregaba, pero no cambiaba la estructura léxica de la teoría. La ley de Boyle relacionó los términos ya comprendidos anteriormente de una manera que hasta el momento no se habían relacionado. Sin embargo, no se introduce un cambio de estructura en la teoría de los gases de la época.

Con respecto al modo 2, Kuhn (2002: 25) señala que “los cambios ponen en juego descubrimientos que no pueden acomodarse dentro de los conceptos que eran habituales antes de que se hicieran dichos descubrimientos. Para hacer o asimilar un descubrimiento tal, debe alterarse el modo en que se piensa o describe un rango de

12 Tomo esta forma de nombrar los tipos de desarrollo científico basada en la clasificación de los modos de producción de conocimiento que hacen: Gibbons, Limoges, Nowotny, Schwartzman, Scott y Trow (1997).

fenómenos naturales”.

Como ejemplo presenta la estructura de dos teorías de la mecánica estelar, la aristotélica y la clásica. Toma el concepto de <movimiento> invirtiendo el orden histórico, pues así lo había aprendido. Al ser “educado como newtoniano” necesitó de cierto proceso para llegar a los conceptos de la filosofía aristotélica de la naturaleza. Según Kuhn, su proceso fue un camino similar al realizado por quienes hicieron el camino inverso. En la teoría aristotélica se consideraban <planetas> al Sol y a la Luna, la Tierra no era un <planeta>, los primeros giraban en torno a la Tierra. Mientras que en la teoría newtoniana la Tierra es un <planeta>, la Luna es un satélite y el Sol es una estrella. Este caso, modo 2 de producción de conocimiento, implicó cambios en las leyes de la naturaleza, es decir, en los criterios mediante los que algunos términos de esas leyes se conectaban. Se trata de teorías diferentes. Los criterios de clasificación dependían de la teoría en que fueron introducidos. No hay acumulación, o por lo menos no de forma similar al caso de la ley de Boyle, no se puede describir totalmente lo nuevo con el vocabulario de lo viejo o viceversa.

Se puede constatar en la obra de Kuhn que relaciona cuestiones de aprendizaje con los cambios de teoría científica. A continuación describo un proceso de aprendizaje que él experimentó. Cierta contexto profesional lo llevó a tener que dictar un curso sobre la física aristotélica. Al estudiar la obra aristotélica se encontró con que esta no tenía nada de mecánica (teoría que él había aprendido en su formación como científico) y con que los “escritos sobre el movimiento” estaban llenos de “errores egregios”, tanto de lógica como de observación. Dicha conclusión le resultaba inverosímil, porque no era coherente con las contribuciones de Aristóteles a otros campos de conocimiento. Se preguntó si las palabras de Aristóteles y las de sus contemporáneos podrían significar algo distinto de lo que significaban en su contexto. Aceptando esta premisa, se ocupó de reordenar los conceptos de la teoría aristotélica. Para él fue una experiencia que lo llevó a “las piezas ordenándose súbitamente por sí mismas y apareciendo juntas de un modo nuevo” (Kuhn, 2002: 30). En este proceso se orienta hacia que el léxico a nivel individual (contexto lexical) se organiza en un esquema conceptual. Sin duda, la física aristotélica constituye un sistema de pensamiento absolutamente coherente y basado en principios. De acuerdo con Piaget y García (1989: 37): “los hechos (considerados

como tales) y los conceptos que los traducen están integrados [en Aristóteles] en un sistema lógico impecable que explica su éxito, multiseccular, ya que fue necesario esperar hasta Newton para encontrar otro sistema tan coherente”.

Para el Kuhn de la década de los ochenta, los cambios revolucionarios en las ciencias físicas tuvieron ciertas características, fueron en un sentido holistas e involucraron a toda la teoría implicada, lo que se denominó <holismo local>. Se produjo un cambio de significado, que incluyó un cambio en el modo de determinación de sus referentes. Se produjeron “cambios en varias categorías taxonómicas, que son el requisito previo para las descripciones y generalizaciones científicas”, ya que el lenguaje se modela como una moneda con dos caras: “una mira hacia fuera, al mundo, la otra hacia adentro, al reflejo del mundo a la estructura referencial del lenguaje” (Kuhn, 2001: 42-43). También se produjo un cambio en la noción de qué es semejante a qué y qué es diferente, una mudanza en el modelo, metáfora o analogía empleada por la nueva teoría.

Entonces, un cambio modo 2 se da cuando se produce la violación o distorsión de un lenguaje científico que previamente no era problemático. En esta exposición, se logra apreciar la importancia que el autor otorgaba al lenguaje en sentido amplio, a pesar de que siempre se refería a las teorías científicas, porque sus ejemplos provienen de la química, la biología y la física. Sus trabajos evolucionaron en el sentido de que priorizaron la estructura del lenguaje.

En el cambio de teorías, trata el problema de la inconmensurabilidad. La inconmensurabilidad no implica que se interrumpa la comunicación, que se esté ante estructuras diferentes. Siempre se dan cambios, sólo que en el modo 1 no es necesario que sean revolucionarios.

Kuhn (2002: 42) señala que “también la ciencia normal altera el modo en que los términos se conectan con la naturaleza. Por consiguiente, lo que caracteriza a las revoluciones no es simplemente el cambio en el modo en que se determinan los referentes, sino una clase de cambio aun más restringida”.

La postura de Kuhn resulta relevante para los objetivos de este trabajo, ya que



sostiene que desde los modos de producción de conocimiento no es posible un cambio revolucionario por el hecho de un experimento aislado. Un cambio de este tipo implica un cambio en la estructura taxonómica de la teoría de que se trate y esto no puede depender nunca de un experimento.

A modo de aclaración, la inconmensurabilidad entre teorías (estructuras lexicales) no implica que alguien que se ha iniciado en una no pueda adquirir otra. El caso de los historiadores de la ciencia es un ejemplo. Ellos han tenido que interpretar cómo se establecían relaciones entre conceptos científicos en otros contextos históricos y han tratado con teorías con cierto grado de incompatibilidad. Al respecto, Kuhn (2002) argumenta exponiendo su propia experiencia al abordar la teoría aristotélica, como vimos más arriba.

Los científicos utilizan diferentes estructuras léxicas simultáneamente, tanto en las etapas de revolución como en las de desarrollo normal. Algunos cambios se van dando en partes de una teoría, no siempre el cambio es total. Incluso en el Epílogo, Kuhn (2002) muestra cómo el uso de diferentes estructuras léxicas va conduciendo a dominios de teorías más restringidos, dejando afuera otros que pueden dar lugar a nuevos campos de conocimiento o abandonarse algunos en los que se ha estado investigando.

2.4. El holismo semántico

Si bien la etimología del término “holismo” conduce a la idea de totalidad, en lo que sigue, utilizo la acepción gnoseológica que refiere a los significados de los términos contenidos en una teoría. En este marco, surgen esta clase de preguntas: ¿se relacionan los términos entre sí? Si cambia alguno, ¿cambia la teoría? Si cambia la teoría, ¿cambia toda la ciencia? ¿Qué alcance tienen los cambios?

Falguera (2004) distingue dos enfoques sobre el holismo semántico. Un enfoque entiende que “los enunciados teóricos” (y más aún los términos teóricos) aislados no son unidades semánticas y que las entidades intencionales (significados) de los términos y enunciados se comprenden en el marco de toda la teoría, la unidad se

constituye por toda la teoría (toda la ciencia). Según este autor, Quine (1951, 1969, *apud* Falguera, 2004) es uno de los representantes de este enfoque, porque considera que la unidad semántica es la totalidad de la ciencia.

El segundo enfoque, “holismo acotado” u “holismo local”, si bien plantea la dependencia semántica de algunos términos científicos respecto de unidades más abarcativas (teorías), no renuncia a hablar de entidades intencionales (significados) de los términos científicos. Esta posición es seguida por Carnap, 1956; Kuhn, 1962, 1983 y siguientes trabajos; Lewis, 1970 y Moulines, 1986, 1991, *apud* Falguera (2004).

Una de las características del segundo enfoque es el rechazo a que existan enunciados observacionales que puedan servir como elementos de contrastación neutrales para toda la ciencia o para cualquier par de teorías. La aceptación de la tesis de la carga teórica de los enunciados observacionales, según Falguera (2011), aleja a Kuhn del punto de vista de Quine. Al respecto, cito a Kuhn (2002: 96),

... usualmente se ha sostenido que las ciencias naturales, al tratar objetivamente con el mundo real (como efectivamente hacen) eran inmunes. Se piensa que sus verdades (y falsedades) trascienden el estrago del cambio temporal, cultural y lingüístico. Naturalmente, estoy sugiriendo que no pueden hacerlo. Ni el lenguaje descriptivo ni el teórico de una ciencia natural proporciona los cimientos que requeriría tal trascendencia.

Sin embargo, previene Falguera (2004: 6) “eso no significa que Kuhn rechace que haya enunciados que jueguen un papel contrastador relativo a cada teoría; sólo que éstos dan cuenta de la evidencia provisional para la teoría (intrateórica), no de la evidencia absoluta e interteórica. Tales enunciados son revisables”.

Kuhn (2002) plantea las diferencias de significado como diferencias de redes conceptuales. Se trata de las redes conceptuales que corresponden a ciertos términos característicos de una teoría. Conforme a esto, el fenómeno de la inconmensurabilidad es presentado, para determinados pares de teorías rivales con ciertos términos homográficos (y homofónicos), como un cambio de significado (de identidad conceptual) de esos términos, según se usen en la red conceptual de una u otra teoría, por ejemplo, el cambio de significado de “masa” y de “fuerza” que se da en la mecánica clásica y la mecánica relativista.

La diferencia entre los dos tipos de holismo señalados más arriba no radica, según Falguera (2004), en el alcance de una teoría. Para Kuhn el holismo local tiene que ver con que en cada teoría la dependencia semántica de los términos y enunciados respecto de la propia teoría solo afecta a algunos de sus términos característicos, no a todos.

Kuhn denomina “léxico” o también “taxonomía” a los términos que en el marco de una teoría T tienen interdependencia de significado. Plantea que los términos introducidos por una teoría T son aquellos cuyo significado es interdependiente en el marco de T. Así, distingue los denominados “términos específicos de T” de aquellos que están disponibles con anterioridad a T. Estos últimos conforman el vocabulario de T previamente disponible (*antecedent vocabulary*). El conjunto de términos que reúne los específicos de T y los disponibles previamente a T conforma la totalidad del vocabulario característico de T [vocabulario específico de T+ vocabulario de T previamente disponible = vocabulario característico de T]. (Falguera, 2004).

El holismo local supone que los términos específicos cobran identidad conceptual o significado en tales generalizaciones (teorías); el significado de los términos específicos se adquiere (se aprende) con el uso de ellas.

Para Kuhn (1989) la formación en una disciplina científica se realiza mediante ejemplos, en general “casos típicos”. Entiendo que uno de los problemas de la enseñanza lo constituye el uso de ejemplos como el que se está estudiando, el experimento de M-M en relación con la relatividad especial. Es muy probable que la finalidad de la enseñanza de una teoría reinterprete experimentos realizados en el marco de otra estructura lexical (o teoría). Este es el caso del experimento en cuestión (M-M) y la forma en que se difunde en la enseñanza de la física. En muchos casos se ha llegado a considerar que este experimento ha conducido inevitablemente a la formulación de la relatividad especial, aun cuando el propio Einstein reconoció no haberlo tenido en cuenta con anterioridad a 1905, año en que formula su teoría.

Para Kuhn, la adquisición o aprendizaje de los términos específicos de una teoría sólo requiere, en sus palabras, de unas pocas generalizaciones. Las generalizaciones

que contribuyen a fijar el significado de los términos específicos de una teoría son constitutivas de una estructura dada por los conceptos que dichos términos expresan, la estructura que denomina “estructura léxica”.

Falguera (2011: 16) sintetiza la tesis del holismo semántico local de Kuhn de esta forma:

- Dada una teoría T, se establece una distinción (relativa a T) entre sus términos específicos – introducidos por la teoría T–y sus términos previamente disponibles.
- Los significados de los términos de T previamente disponibles están dados con independencia de T, mientras los significados de los términos específicos de T se constituyen por medio de T.
- El significado –identidad conceptual–de cada término específico de T se constituye de manera interdependiente con el resto de términos específicos de T mediante ciertas generalizaciones, en su uso a varias aplicaciones diferentes.
- Esas generalizaciones puede decirse que tienen el estatuto de sintético a priori no-absoluto.

En relación con el segundo ítem de la síntesis anterior, Levinas y Carretero (2010) desarrollan una línea de argumentación sobre el uso de los experimentos cruciales. Dichos experimentos, para los autores, involucran hipótesis que contienen términos previamente disponibles de otras teorías y términos de la teoría con la que se conjugan.

En rasgos generales, entiendo que la fortaleza del argumento del holismo acotado de Kuhn está en la independencia de una teoría T de los términos y enunciados previamente disponibles.

La concepción de inconmensurabilidad entre teorías (Kuhn, 2002) desde los años cincuenta del siglo pasado aporta elementos importantes a propósito de los cambios de teoría. En palabras de Kuhn (2002: 51), “los significados son productos históricos, y cambian inevitablemente en el transcurso del tiempo cuando cambian las demandas sobre los términos que los poseen. Es sencillamente poco plausible que algunos términos cambien sus significados cuando se transfieren a una nueva teoría sin infectar los términos transferidos con ellos”.

2.5. Experimentos cruciales

Los experimentos cruciales han sido objeto de discusión tanto en la HFC como en la

enseñanza de física. Según Hacking (1996), su origen se remonta a la obra inconclusa de Bacon de 1620, titulada *Novum Organum*, donde clasifica lo que denomina casos privilegiados. Dentro de ellos, el decimocuarto caso trata los *Instantiae crucis*, que traducidos son los “experimentos cruciales”. Hacking (1996: 278) señala que “una traducción más literal y tal vez más útil sería ‘casos de encrucijada’. Los traductores antiguos lo expresaban como ‘casos de las señales de caminos’, pues Bacon usó el término que se utilizaba para designar los rótulos que se ponían en donde se separaban los caminos ‘para indicar las diferentes direcciones’”.

Se han generado controversias en torno a estos experimentos, que según Hacking (1996) se hubieran soslayado si los filósofos de la ciencia se hubieran mantenido cerca de Bacon. En palabras del autor, “se hubieran evitado los siguientes pares de contrarios: (a) los experimentos cruciales son decisivos y llevan inmediatamente al rechazo de una teoría; (b) no ha habido experimentos cruciales en la ciencia” (p.279).

Según Hacking (1996: 279) en (a) la idea es que “dos teorías están en competencia, y un único experimento favorece concluyentemente una teoría y desdice la otra. Aun cuando no se prueba que la teoría victoriosa sea verdadera, la teoría rival se deja de considerar como alternativa viable”. Respecto a la posición (b) expresa: “recientemente ha estado de moda decir que los experimentos cruciales sólo lo son en perspectiva, que no deciden nada cuando se ejecutan”. En su opinión esta es precisamente la posición de Lakatos.

Para Hacking (1996) los casos-señales proporcionan mucha claridad y tienen una gran autoridad y a veces llevan el curso de la interpretación a una conclusión. La cuestión es que este toma una posición intermedia similar a la de Bacon, no siempre “a veces” conducen a una solución.

Lakatos (1989) en los programas de investigación científica dice que él y el último Popper reconocen que los experimentos cruciales no juegan el rol protagónico en el cambio de teorías científicas como consideraba Popper en un inicio. Este, según Lakatos, propuso en un principio una teoría, que ha sido denominada falsacionismo ingenuo, donde la forma de refutar una teoría era falsarla mediante el uso de experimentos cruciales.

Hacking (1996), que discrepa tanto con el caso (a) como con el caso (b), considera que la postura de Lakatos (1989) degrada demasiado el papel de los experimentos cruciales, y el de M-M en particular. Entiende que estos experimentos sirven como puntos de referencia, como los cruce de caminos de Bacon.

Según Lakatos (1989: 102) “sólo un proceso difícil y extremadamente largo puede establecer la victoria de un programa de investigación sobre su rival; y no es prudente utilizar la expresión <experimento crucial> de forma apresurada”.

En mi opinión, el último Kuhn desde 1983 en adelante, bajo la tesis del holismo acotado más cercano a Duhem (1906) y diferenciado del de Quine (1951), considera que los experimentos cruciales no juegan ningún rol significativo, a lo sumo constituyen buenos ejemplos para quienes están en la etapa de adquisición de teorías. Sin embargo, no niega el valor de la experimentación en el desarrollo de la ciencia como lo hace Lakatos según Hacking (1996).

Como se puede apreciar, los tres filósofos de la ciencia (Hacking, Lakatos y Kuhn) mantienen posiciones diferentes en cuanto al valor de los experimentos cruciales. A su vez, Lakatos (1989) acusa a Kuhn de hacer sus estudios teniendo en cuenta un contexto de descubrimiento en el cual inciden otros aspectos extra-lógicos al momento de decidir entre teorías. Lakatos (1989) propone que el desarrollo de la ciencia se realiza mediante programas de investigación, muchas veces regresivos, mientras que Kuhn (1962, 2002) propone los dos modos descritos anteriormente, el acumulativo (modo 1) y el revolucionario (modo 2) y entiende que un experimento no cambia una teoría.

Según Levinas y Carretero (2010) cuando se reinterpretan en función de una nueva teoría experimentos realizados en otro contexto histórico, se suelen omitir algunos aspectos del rol de las hipótesis auxiliares, muchas de ellas implícitas. Para ellos, esto es lo que precisamente ocurre con los experimentos cruciales.

Asimismo, considero que Levinas y Carretero (2010), desde una concepción similar al holismo acotado de Kuhn, entienden que el rol de los experimentos cruciales no es

definitorio en el cambio de teorías, tampoco lo es respecto del cambio de alguna de las hipótesis, pues este a su vez depende de un conjunto de factores.

Si se reflexiona sobre la caracterización del holismo semántico acotado o local de Kuhn presentado en la sección anterior, se puede inferir que las hipótesis auxiliares explícitas¹³ de un experimento constituyen una parte fundamental de los términos y enunciados previamente disponibles de una teoría. Si se asume eso, entonces las teorías tienen cierta independencia de dichos términos, los experimentos se podrían interpretar desde teorías diferentes. Es (a mi juicio) lo que le ocurrió al experimento de M-M, que ha tenido un rol muy influyente a la hora de decidir en favor de una u otra teoría en su cambiante rol histórico.

Michelson realizó el experimento cinco veces (Hacking, 1996) entre 1881 y 1935, en los años 1881, 1886, 1887, 1897, 1925, mientras que otros trataron de mejorar o modificar los resultados que obtuvo. En 1897 Michelson llevó a cabo su experimento para medir la velocidad del viento del éter en la cima de las montañas sin encontrar cambios en los resultados. A partir del experimento de 1887, se inclinó por la teoría de Stokes del arrastre del éter; pero en 1897 pasaría a la teoría del viento de éter de Fresnel e incluso aceptaría que la teoría de Lorentz de la contracción de longitudes sería posible. Como se puede apreciar, ante un resultado experimental, Michelson aceptó la posibilidad de aceptar por lo menos tres teorías coherentes con sus presupuestos. Mientras que la aceptación de la teoría de la relatividad restringida ocurrió después en la comunidad científica.

El rol cambiante de este tipo de experimentos respecto de las hipótesis fundamentales involucradas muestra la existencia de factores muy complejos que inciden en su interpretación, y es representativo de cómo operan históricamente los cambios conceptuales. Por eso el estudio de este tipo de experiencias, como también de las respuestas de los individuos a sus resultados, es decisivo para comprender, por ejemplo, la resistencia a abandonar la teoría disponible, algo que se ofrece a todos los niveles (Moledo, 2010).

Carretero y Levinas (2010), buscando elucidar la relación entre el cambio de teorías y el cambio conceptual, expresan que la identificación de las hipótesis auxiliares

13 Entiendo que las hipótesis auxiliares implícitas son aquellos supuestos que se dan de hecho, no se enuncian, mientras que son explícitas si los autores las reconocen como tales y las explicitan.

explícitas (enunciados previamente disponibles para Kuhn) es necesaria si se pretende determinar las ventajas y desventajas de dos teorías competitivas.

Según Kuhn (2002) un experimento aislado no podría determinar por sí mismo un cambio total de la teoría considerada, sólo modificaría alguna parte de la teoría. Se trataría de un cambio “pequeño”, que precisaría de otros cambios para eventualmente determinar el cambio total de la teoría.

Al existir un cambio que afecta a la teoría, la teoría nueva adquiere cierta inconmensurabilidad con la primera, pues alguna de sus partes o toda ha cambiado, este cambio conlleva un cambio de estructura de la teoría, es decir, la clasificación de los conceptos que involucra cada una ya no es la misma.

El aporte de Levinas y Carretero (2010) se relaciona con estas consideraciones. Ellos analizan la influencia de las hipótesis auxiliares y/o alguna de las implícitas en determinados experimentos cruciales para dilucidar, desde la HFC, los procesos que conducen a los cambios conceptuales. Este tipo de análisis bien podría ser trasladado a la enseñanza empleando algunos experimentos cruciales como ejemplares.¹⁴

La incidencia del experimento de M-M en la enseñanza de la teoría de la relatividad especial, y sus repercusiones, se enmarca en el problema de los cambios de teorías como consecuencia de la utilización de un experimento crucial. Este problema es típico en el campo de la HFC. En el cambio de teorías intervienen tanto el contexto de justificación, las relaciones lógicas entre principios, hipótesis, como el contexto de descubrimiento, la forma en que tienen lugar los procesos del pensar.¹⁵

14 Ejemplares en el sentido de Kuhn (1989) son ejemplos que se utilizan para aprender la teoría, en la ciencia normal para formar a otros dentro de la teoría.

15 En Levinas (2000) se discute esta distinción entre los dos contextos, de descubrimiento y de justificación, que debe ser atribuida a Reichenbach (1938, *apud* Levinas, 2000).

2.5.1. El experimento de M-M

Respecto de los vínculos entre el experimento M-M y la relatividad especial, se pueden evidenciar dos posiciones que se ubicarían en los extremos de un segmento. En uno se encuentran quienes sostienen que la base experimental condicionó los principios de la relatividad especial, por lo tanto, para ellos Einstein conocía los experimentos de M-M y se habría apoyado en estos. Esa es la posición de Poincaré (1963 *apud* Ten, 1978). En el otro extremo se ubican quienes entienden que los principios de la relatividad especial son el resultado de un proceso exclusivamente especulativo de Einstein y que este prescindió de los experimentos M-M para la elaboración de la teoría.

Entre ambas, se localiza una postura muy generalizada que concibe que a partir del experimento de M-M se evidencia que no existe el éter ni, por lo tanto, un referencial absoluto (todos los movimientos se pueden describir respecto de él).

El experimento de M-M no permite medir lo que se habían propuesto sus diseñadores, un corrimiento en las líneas de interferencia de la luz. En consecuencia, Michelson y Morley se propusieron medir algo que dio un resultado nulo (dentro de los valores de incertidumbre). Si este resultado llevara a considerar que la Tierra no experimenta una velocidad relativa respecto del éter, se puede inferir, por un lado, la no existencia del éter, por lo tanto, las ondas electromagnéticas se propagan en un espacio sin éter (contradiendo la teoría vigente) y, por otro lado, que existe un viento de éter, como en Fresnel, pero que es menor que el rango de medición posible. También es posible concluir, como lo enunció Michelson después del experimento de 1887, que hay un arrastre del éter por los cuerpos opacos como la Tierra.

De todo esto se infiere que del experimento de M-M no puede extraerse ningún resultado concluyente, al igual que de ningún experimento. En otras palabras, los mecanismos para que las teorías se modifiquen drásticamente o sean reemplazadas son mucho más complejos. En el cambio de una teoría a otra influyen procesos psicológicos, sociales, políticos que conducen a determinados acuerdos, se jerarquizan algunas explicaciones de la nueva teoría, surgen nuevos experimentos, los conceptos cambian, se producen nuevas taxonomías. Sin embargo, también puede

sucedir que algunas partes de las teorías anteriores se conserven. Una vez modificadas las teorías, los experimentos son interpretados o reinterpretados a la luz de la teoría triunfante. Esto explica el mote de “experimento crucial”.

Para Cassini y Levinas (2005) el contexto histórico en el que se discuten las teorías es fundamental para la comprensión del cambio conceptual y resulta relevante considerar este contexto a la hora de enseñar contenidos específicos. Por eso, no es conveniente presentar, tal como se hace en la mayoría de los libros de texto, el experimento de M-M como promotor de la relatividad especial.

Todas ellas [citas de textos prestigiosos que introducen la teoría de la relatividad] ofrecen típicas interpretaciones retrospectivas del resultado del experimento M-M hechas a la luz de la teoría de la relatividad especial, teoría que sólo se formuló dieciocho años después. En el momento en que se hizo este experimento no se lo interpretó en términos que pudieran tener, en principio, alguna relación directa con la relatividad; el propio contexto histórico de la física teórica no permitía hacer esta clase de interpretación. En los años inmediatamente posteriores al experimento M-M, no se tendía a extraer la conclusión de que el éter no existía, ni tampoco de que la velocidad de la luz era constante a pesar de que la fuente luminosa estuviera en movimiento respecto del éter (p. 548).

En este trabajo aventuro una semejanza entre lo que estos autores denominan “contexto histórico de las teorías” y lo que el último Kuhn denomina “estructura léxica”. Si se acepta esta relación, se puede establecer otra semejanza entre incompatibilidad de las teorías y la relación de inconmensurabilidad del propio Kuhn.

La relación de semejanza entre el denominado “contexto histórico de las teorías científicas” y la versión semántica de “estructura léxica” del último Kuhn puede ser fundamentada teniendo en cuenta los aportes epistémicos de Lewowicz (2004: 198):

la estructura léxica es presentada de diversas maneras. a) La estructura léxica es un conjunto de términos de clase o un conjunto de categorías taxonómicas b) La estructura léxica constituye su mundo, su léxico y la comunidad que la comparte (Kuhn, 1993). Es lo que garantiza la homogeneidad referencial intracomunitaria y determina el conjunto de expectativas respecto del significado de los términos que comparte una comunidad; c) caracteriza a la comunidad como un todo unido.¹⁶

16 La autora realiza una aclaración, que escapa a nuestros objetivos. Sin embargo, respondiendo a cierta fidelidad del texto la cito: “nosotros estamos advertidos de que estas caracterizaciones son en extremo diferentes, pero Kuhn no aclara en ningún texto que haya editado las diferencias o, en su defecto, las relaciones entre las dos formas de concebir la estructura léxica. Hemos preferido aquí, así como en el conjunto de nuestro texto, conservar las oscuridades del propio Kuhn” (Lewowicz, 2004: 198).

La concepción de la estructura léxica kuhneana, admitiendo el nivel de generalidad explicitado por Lewowicz (2004), y la importancia del contexto según Cassini y Levinas (2005) me permiten responder a la pregunta que formulan estos últimos: ¿cómo este experimento (M-M) hubiese sido interpretado en contextos tan diferentes como el propio de la ciencia en el siglo XVII, donde el movimiento de la Tierra era todavía una hipótesis cuestionable? Asunto que será planteado en la propuesta de enseñanza.

3. Metodología

Este trabajo sigue a grandes rasgos la metodología de investigación de la enseñanza, y particularmente se vincula con contenidos específicos a ser enseñados. Asumo el rol de profesora-investigadora e intento realizar un acto de coherencia epistemológica metodológica y política. Conformo una indagación del tipo *emic*,¹⁷ se la puede situar dentro de la investigación-acción. En este sentido, propongo en las conclusiones el diseño de una secuencia de enseñanza, que en una versión anterior ya ha sido implementada durante el año 2011 y autoevaluada. Ver Anexo II.

Para abordar el objeto de estudio, trabajé sobre los programas de las asignaturas contenidos en el plan de estudios, los textos didácticos usados en clase y las entrevistas realizadas a los docentes que han tenido a su cargo los cursos de la disciplina física seleccionados.

En las entrevistas consideré el compromiso con el colectivo de profesores de respetar sus testimonios, a pesar de que es una regla de juego implícita entre los profesores, igual fue explicitado en cada caso antes de comenzar la entrevista. Ello no evita el esfuerzo personal en tratar de quitar el velo de lo cotidiano al ser integrante de dicho colectivo. Desde esta perspectiva realicé el análisis simultáneamente al proceso de investigación.

Es interesante mencionar que los entrevistados cuidaron su estilo de argumentación pues sabían que su palabra era grabada, y que en este proceso he percibido un gran respeto al momento de la entrevista y muestras de satisfacción por participar en este proyecto. Se estableció cierta empatía entre ambas partes.

La investigación se enmarca en el análisis cualitativo, orientado en parte por la perspectiva de análisis crítico del discurso. Según Lemke (1997:12) “los discursos de

¹⁷ La distinción entre *emic* y *etic* se refiere al rol del investigador en relación con el contexto de investigación, en el primero el investigador se incluye en el contexto, en cambio, en el segundo se posiciona fuera de él.

los profesores pueden utilizarse para comprender los textos, programas y la comunicación en el aula, lo que muestra la diferencia entre el plan de estudios y el currículo”.

3.1. Recolección de datos

La recolección de datos se llevó a cabo en dos etapas. La primera etapa consistió en identificar las instituciones que implementan la formación de profesores de física en el país, los planes de estudio y los cursos en cuyos programas figura el experimento de M-M. En la segunda etapa me dediqué a la realización de las entrevistas y de estas obtuve la información que me permitió acceder a los textos didácticos más usados por los docentes de física.

3.2. Etapa 1

3.2.1. Instituciones elegidas: IPA y PS

La primera institución de formación de profesores de enseñanza secundaria media y técnica en el país (IPA) funciona desde la década del cincuenta. Está ubicado en Montevideo y concurren, desde ese entonces, estudiantes de todo el país. En él se dictan cursos presenciales. Hasta el 2003 se ocupó de una modalidad denominada “semilibre”, en la cual los estudiantes rendían los exámenes de las asignaturas que se agrupan dentro de las “específicas” en dicho centro y cursaban las asignaturas “generales” en los institutos de formación docente ubicados en ciudades de los demás departamentos del país. Esta modalidad se suspendió poco tiempo después de iniciada una modalidad de educación a distancia semipresencial.

En el año 2003, entonces, comienza la formación de profesores en esta nueva modalidad semipresencial, que actualmente se denomina “Profesorado Semipresencial” (PS). En su comienzo se introdujeron modificaciones al Plan 1986, por ejemplo la implementación de cursos semestrales en lugar de anuales. En el año 2004 se adoptó el Plan 1986 al igual que el IPA. El PS funciona en el mismo predio

que el IPA, pero su gestión y administración son independientes. Esta modalidad atiende a estudiantes de todo el país.

Estas dos instituciones fueron elegidas teniendo en cuenta, por un lado, que nuclean estudiantes provenientes de todo el país y, por otro lado, que siguen el mismo plan (Plan 86).

En cuanto a la decisión sobre el período estudiado, con la pretensión de realizar un estudio actual, tuve que ceñirme al Plan 1986, que estaba siendo desplazado por el Plan Único Nacional de Formación Docente (PNFD) en el año 2008. De otra manera, no hubiera podido estudiar la implementación del Plan 2008 en uno de los años en que se cursan materias relacionadas con la relatividad especial (primero y cuarto), porque no hubiera tenido acceso a profesores dictando cuarto año ni tampoco el tiempo suficiente como para que se generaran prácticas de enseñanzas estables. El plan 2008 en el IPA comenzó a aplicarse en ese año, mientras que en el PS un año más tarde. En el IPA el último año del plan 1986 fue el 2010. La siguiente tabla muestra el pasaje de estos planes.

Tabla 1. Planes en lapso estudiado

Año Curso	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto
2007	P.86-IPA P.86-PS	P.86-IPA P.86-PS	P.86-IPA P.86-PS	P.86-IPA P.86-PS
2008	P.86-PS P.08-IPA	P.86-IPA P.86-PS	P.86-IPA P.86-PS	P.86-IPA P.86-PS
2009	P.08-IPA P.08-PS	P.86-PS P.08-IPA	P.86-IPA P.86-PS	P.86-IPA P.86-PS
2010	P.08-IPA P.08-PS	P.08-IPA P.08-PS	P.86-PS P.08-IPA	P.86-IPA P.86-PS

3.2.3. Cursos y programas de estudio

El relevamiento de los programas de los cursos fue realizado a través de la página de ANEP.¹⁸ Elegí los que involucraran el objeto de estudio. La búsqueda se limitó a las asignaturas específicas y, dentro de ellas, a las más factibles a tratar la temática, por ejemplo, la asignatura Fisicoquímica no fue considerada.

La relatividad especial figura expresamente como tema a tratarse en el programa del curso “Física General y Experimental I”, correspondiente al primer año de la formación. También, aparece una mención en el programa del curso “Física Moderna”, correspondiente a cuarto año, donde se expresa que si el tema relatividad, de “capital importancia para la física y filosofía”, no fue estudiado en cursos anteriores, a pesar de que debió serlo, es imprescindible tratarlo antes de empezar el programa de la asignatura.

3.3. Etapa 2

3.3.1. Entrevistas

La segunda etapa consistió en la realización de las entrevistas. En un primer momento realicé dos entrevistas abiertas a la profesora que tenía a su cargo el curso de cuarto año “Física Moderna”. La primera fue casual guiada por los intereses de cada una. La segunda tuvo lugar en el laboratorio de Física del IPA, lugar en el cual los profesores realizan la mayor parte de sus actividades. La profesora contó que dispone de un sitio web para el curso, que he consultado.¹⁹

Para realizar las entrevistas a los docentes con fines académicos fue necesario comunicar y solicitar autorización a la Dirección y Formación de Perfeccionamiento Docente (DFPD), una de las direcciones del CODICEN, por medio de una nota elaborada por la directora de la Comisión Sectorial de Enseñanza (CSE) de la

18 http://www.dfpd.edu.uy/web_08/estudiantes/planes_program2.html

19 <http://www.fing.edu.uy/~skahan/fismodipa/materiales.htm>

UdelaR (Universidad de la República), Dra. Collazo.

Por otro lado, es importante aclarar que durante la etapa del diseño de la entrevista, cursé el seminario “Introducción a métodos cualitativos de investigación discursiva”,²⁰ que me permitió posicionar el marco teórico dentro de la perspectiva de Análisis Crítico del Discurso (ACD), y no incurrir en la constatación de Wodak (2008:1):

Usually, in the social sciences, text sequences are used as illustrations, sentences are taken out of context, and specific text sequences are used to validate or reject claims without relating them to the entire textual material and without providing any explicit justification or external evidence for their selection.

Los cinco profesores que fueron entrevistados tuvieron a su cargo una de las asignaturas seleccionadas (Física Moderna; Física General y Experimental I). Incluso uno de ellos dictó algunos años las dos. Los cinco docentes participaron individualmente de las entrevistas.

El formulario diseñado para la entrevista (pauta de la entrevista) se organizó sobre la base de preguntas dirigidas o cerradas. Los docentes entrevistados se ajustaron estrictamente a esta pauta, y esto se debe a que el colectivo de profesores de física tiende a ser muy concreto en sus formas de interacción. La pauta puede ser vista en Anexo III.

Para facilitar la realización de las entrevistas, teníamos las preguntas escritas al momento del encuentro. A su vez, diseñé un formulario que me permitió hacer notas aclaratorias de acuerdo al registro del discurso hablado, constatar los tiempos y registrar observaciones. El diseño se puede ver en Anexo III.

En la acción social significativa (entrevista) ambos, entrevistadora y entrevistado, nos conocíamos porque trabajamos como docentes en la formación de profesores. Nuestra relación es de igualdad, con contacto poco frecuente, pues dictamos

20 Seminario perteneciente a la Maestría en Ciencias Humanas, Opción “Lenguaje, Cultura y Sociedad” (UdelaR) dictado por la Dra. M. Achugar, en el año 2010.

asignaturas diferentes. Las entrevistas fueron en el laboratorio de física o en la sala de departamentos del IPA, en horarios acordados.

Con respecto a los instrumentos y herramientas informáticas utilizados para la transcripción de las entrevistas, en un primer momento usé el Reproductor de Windows Media Player y el office 2003. Luego, al tomar contacto con el software libre F4 Audiotranskription.de,²¹ continué con esta herramienta porque me facilitaba la tarea. En el programa F4 recurrí a la tabla que ofrece el software En relación con las transcripciones establecí con anticipación códigos de escritura que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 2. Códigos utilizados en las transcripciones de las entrevistas

Código	
Er	Entrevistador
E	Profesor/a entrevistado/a. Utilicé seudónimos en cada caso y los numeré. En el texto escribo: E1 cuando me refiero al entrevistado 1. En el Anexo V figura también el pseudónimo.
{ }	Silencio pausa del hablante ²²
...	Decae el tono y la frase queda inconclusa.
MM	Experimento de Michelson y Morley
[]	Aclaraciones al lector

La etapa de transcripción fue parte del análisis de los datos, ya que los fragmentos utilizados para el análisis fueron producto de mi intervención (Ver Anexo V). Por esa razón, es necesario mantener las grabaciones como testimonios, a pesar de que tampoco las grabaciones de audio permiten volver sobre los gestos y acciones, que quedan fuera, salvo lo que se registra por escrito. Aun así se pierde información, que

21 <http://www.audiotranskription.de>

22 Muchas de las pausas son originadas porque la entrevistadora escribe y el entrevistado da lugar haciendo silencios para que termine de escribir, por lo tanto, no pueden atribuirse al discurso del entrevistado sino a la situación comunicativa.

no incide en el análisis según Lemke (1994: 2), “all analysis is reductive. Information from the original data is discarded in the process of foregrounding the features of interest. Wise researchers preserve the original data in a form that can be re-analyzed or consulted again from a different viewpoint, posing different questions”.

3.3.2. Textos elegidos

Con respecto a la elección de los textos, primero había tenido una aproximación a través de los programas de las asignaturas, pero finalmente me basé en la información obtenida en las entrevistas, así como en indagaciones previas y en conversaciones informales con docentes a cargo de los cursos. La siguiente tabla los recoge.

Tabla 3. Textos

Textos
French, A.P. (1991) <i>Relatividad Especial</i> . Barcelona: Reverté.
Resnick, R. (1977) <i>Introducción a la teoría especial de la relatividad</i> . México: Limusa.
Kittel, C., W. Knight y M. Ruderman (1968) <i>Mecánica</i> (Berkeley, Physics course) Tomo I. México: Reverté.
Serway, R.A., C. J. Moses y C.A. Moyer (2007) <i>Física Moderna</i> . Buenos Aires: Thomson.

El orden de los textos de la tabla se justifica en virtud de que los dos primeros fueron los más referidos por los docentes, le sigue el tercero, mientras que el cuarto fue mencionado en una oportunidad al comienzo de la investigación en las entrevistas informales. El texto de Eisberg y Resnick (1980) (mencionado por todos) no

contempla el tema que estudio.²³

23 Este texto se utiliza en el curso de cuarto, Física Moderna, en el que se dictan temas de la física del siglo XX, pero no contiene el tema relatividad espacial.



Maestría en Enseñanza Universitaria

Comisión Sectorial de Enseñanza
Área Social y Artística
Consejo de Formación en Educación



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY



comisión sectorial
de enseñanza



Facultad
de Humanidades
y Ciencias de la Educación



Consejo de
Formación en
Educación

4. Análisis

En la primera etapa del proceso de análisis del discurso elaboré categorías en el programa informático MAXQDA10.²⁴ Estas se pueden ver en Anexo IV.

Se pueden observar diferentes argumentos que utilizan los docentes para justificar la secuencia didáctica que implementan. Es importante, ya que aparece en todas las entrevistas, la presencia de argumentos relacionados con el aprendizaje, del tipo “para el estudiante es más fácil” (E3). Este tipo de argumento va acompañado de la convicción de que una discusión histórico-epistemológica es muy compleja.

También predominan los argumentos de corte empirista, en los que se caracteriza al experimento de M-M como un “experimento negativo” (E2, E3, E4). Según los entrevistados, en este se demuestra que no existe el éter y que la velocidad de la luz en el vacío es invariante. Estos mismos argumentos, a su vez, predominan en los textos analizados. Ver Anexo V.

Los textos seleccionados, expuestos en la Tabla 3, surgen, como ya mencioné, de cruzar la información que brindan los docentes con la de los programas de los cursos.

Uno de los problemas surgió en el análisis que proviene de la selección del curso de “Física Moderna”, porque su programa no incluye directamente el tema relatividad especial, como ya se mencionó, sino que lo tiene en cuenta solo en caso de que no se haya tratado en años anteriores. En las respuestas de los cinco profesores aparece en tres casos el texto de Eisberg y Resnick; sin embargo, lo he descartado porque no trata el tema relatividad especial.

El texto *Introducción a la teoría especial de la relatividad* de Resnick se menciona en tres de las entrevistas. Un profesor resalta que el contenido difiere según las ediciones y rescata la primera edición por relacionar el experimento de M-M con el

²⁴ Durante el análisis tuve la posibilidad de entrar en contacto y tener acceso a este software al tomar un curso con el Dr. Alem Pérez Casas, en el marco de la maestría que motiva esta tesis.

electromagnetismo. Este profesor señala: “Resnick hay dos versiones, hay una un poco más vieja que es un poco más ampliada que se llama *Introducción a la relatividad especial...* y después la versión que salió, que esa sí se consigue, la otra no, se llama creo que *Concepto de relatividad y teoría cuántica*, que eliminaban unos capítulos, por ejemplo, el electromagnetismo que estaba como en cuatro capítulos en el original, ahora figura no más que una reseña”.²⁵ Otro de los profesores dice: “yo creo que les gusta, de relatividad, el Resnick {}”.²⁶ El tercero expresa. “la parte de relatividad, que ahí usamos [es] el libro de Resnick”.²⁷ (Citas de la transcripción).

El texto de Resnick tiene dos ediciones, la primera de ellas es la valorada por uno de los entrevistados y es la que analizamos. El autor comienza remarcando en la introducción el objetivo por el cual fue escrito, un criterio didáctico: “mi mayor esperanza es que este trabajo hará que la relatividad sea accesible a los estudiantes que recién se inician y que produzca en ellos algo de interés en la física” (Resnick, 1977: 6).

La estructura argumentativa del texto de Resnick será fundamental en la concepción de los futuros profesores, por ser uno de los más utilizados. El autor desarrolla un argumento de corte popperiano en relación con los experimentos, los utiliza como elementos decisivos al momento de seleccionar las teorías. En el capítulo inicial, denominado “Antecedentes experimentales de la teoría especial de la relatividad”, estructura sus argumentos sobre la base de un análisis lógico y ubica los experimentos como casos que permiten tomar decisiones, teniendo en cuenta un contexto de justificación posible.

Entonces, el problema consiste en lo siguiente. El hecho de que el principio de relatividad galileano se aplique a las leyes newtonianas de la mecánica, pero no a las leyes del electromagnetismo, implica la necesidad de escoger las consecuencias correctas entre las siguientes posibilidades.

1-Existe un principio de relatividad para la mecánica, pero no para la electrodinámica; en la electrodinámica existe un sistema inercial preferido; es decir, el sistema del éter. Si esta alternativa fuera correcta las transformaciones galileanas serían aplicables y se podría localizar experimentalmente el sistema del éter.

25 Según el software MAXQDA10 Documento: Entrevistas\entrevista Luis E4 Posición: 8-8

26 Según el software MAXQDA10 Documento: Entrevistas\entrevista Mario E2 Posición:28-28
Código: textos\Resnick

27 Documento: Entrevistas\entrevista Julio parte 1 E5 Posición: 14 –14 Código: textos\Resnick

2-Existe un principio de relatividad tanto para la mecánica como para el electromagnetismo, pero las leyes de la electrodinámica dadas por Maxwell no son correctas. Si esta alternativa fuera la acertada, se podrían hacer experimentos con los que se demostrara que hay desviaciones de la electrodinámica maxwelliana y se deberían reformular las leyes del electromagnetismo. También se aplicarían las transformaciones galileanas.

3-Existe un principio de relatividad tanto para la mecánica como para la electrodinámica, pero las leyes de la mecánica dadas por Newton no son correctas. Si esta alternativa es la acertada, podrían realizarse experimentos con los que se demostrara que hay desviaciones de la mecánica newtoniana y se deberían re-formular las leyes de la mecánica. En este caso, las leyes de transformación (Resnick, 1977: 15).

En relación con la opción 1, el autor explica que el experimento de M-M es un intento de localizar el sistema absoluto. Resnick (1977: 16) remarca el hecho del resultado nulo del experimento en varias ocasiones: “el resultado nulo parece eliminar toda posibilidad de que haya sistema del éter (absoluto) [...] conclusión de que la velocidad de la luz es igual, es decir, c - en todas las direcciones y en todos los sistemas inerciales-”.

Los intentos por preservar el concepto de un sistema de éter preferido que utiliza el autor son: -la hipótesis de FitzGerald (1892) sobre la contracción de las longitudes en la dirección del movimiento de la tierra respecto del éter estacionario

-la hipótesis del arrastre del éter de Stokes, en contradicción con, lo que Lorentz concluye, que no puede haber un cambio de velocidad en el éter.

Finalmente, analiza los intentos por modificar la teoría electrodinámica desde las denominadas teorías de la emisión, según las cuales la velocidad de la luz depende de la fuente. Los argumentos son los experimentos realizados utilizando luz estelar, los cuales reiteran las medidas obtenidas por M-M.

Ahora nos vemos forzados por el experimento a llegar a la conclusión adicional de que las leyes de la electrodinámica son correctas y no requieren modificación. La velocidad de la luz (es decir, de las radiaciones electromagnéticas) es igual en todos los sistemas inerciales, independientemente del movimiento relativo de la fuente y del observador. Por lo tanto, existe un principio de relatividad, aplicable tanto a la mecánica como al electromagnetismo (Resnick, 1977: 31).

En este caso, como se puede apreciar, la relatividad especial es introducida por medio de un análisis racional, en el cual los experimentos dirimen la cuestión entre teorías.

La serie del curso de física de la Universidad de Berkeley (Tomo I, *Mecánica*) es utilizada en diferentes temas de los programas analizados. La visión que se presenta

en relación con la relatividad especial se aproxima a una perspectiva empirista, en el sentido que el experimento se presenta como evidencia de la teoría de la relatividad.

La exposición del tema viene precedida por un capítulo destinado a la velocidad de la luz desde el punto de vista experimental. Contiene una síntesis de los métodos utilizados para medirla hasta la década del sesenta, fecha de la edición. Según los autores Kittel, Knight y Ruderman (1968: 312) “este capítulo se refiere a experiencias y resultados experimentales. Discutiremos la medida de la velocidad de la luz y la prueba experimental de la invariancia de la misma respecto a la velocidad de cualquier sistema inercial”. Los autores aseguran que la velocidad de la luz como valor invariante para cualquier referencial inercial es un resultado experimental.

Se encuentra experimentalmente que: $c_r=c$ (26) para cualquier sistema independientemente de su velocidad propia e independientemente de la velocidad relativa a cualquier medio de propagación que imaginemos. En este hecho demostrado estriba la raíz de la formulación relativista de las leyes físicas [...] Consideremos ahora los experimentos que demuestran que la velocidad de la luz es (3×10^6 cm/s) independiente de la velocidad de la Tierra en su órbita. (Kittel, Knight y Ruderman, 1968: 332).

Se explican diversos procedimientos realizados con la finalidad de medir la velocidad de la luz, en especial, teniendo en cuenta la velocidad relativa de la fuente, receptor o del medio, dentro de ellos se ubica el trabajo de M-M.

Dicho experimento es calificado por estos autores como revolucionario y lo exponen a través de las citas extraídas del artículo que Michelson y Morley publican en 1887: “sencillo en principio, este experimento condujo a una revolución científica con unas consecuencias de gran alcance”. Es interesante analizar la aclaración que entre corchetes hacen estos autores al transcribir la publicación de M-M, porque refiere a la concepción que tienen de dicho experimento.

La distancia D era de próxima a once metros, o 2×10^7 longitudes de onda de luz amarilla; el desplazamiento esperado era, por tanto, de 0,4 franjas {si la Tierra estuviera moviéndose en el éter}. El desplazamiento real fue ciertamente menor que la veinteava parte de éste y, probablemente, aún menor que la cuarentava parte. Pero como el desplazamiento es proporcional al cuadrado de la velocidad, la velocidad relativa de la Tierra y el éter es probablemente menor que un sexto de la velocidad orbital de la Tierra y ciertamente menor que un cuarto (Michelson y Morley, 1887, *apud* Kittel, Knight & Ruderman, 1968: 336).

Se puede apreciar que la postura de los autores en contra de la hipótesis del éter y la relevancia que ellos le dan al experimento incide en el lector, quizá más que lo

enunciado por los propios autores del experimento, que plantean una posición de posibilidad. A continuación cito a los autores del texto cuando relatan los acontecimientos posteriores a dicho experimento, ya que hasta el día de hoy se sigue repitiendo en diferentes condiciones.

Podemos ver que el corrimiento del éter (“viento de éter”) es cero hasta una precisión que se expresa mejor diciendo que las velocidades de la luz en su mismo sentido y en sentido contrario son iguales dentro de una imprecisión inferior a 103 cm/s o de 1 parte en 1000 de la velocidad orbital de la Tierra alrededor del Sol (...) el resultado negativo del experimento de Michelson-Morley sugiere que la influencia del éter es indetectable.... (Kittel, Knight y Ruderman, 1968: 336).

La enfática afirmación que le sigue “el experimento de Michelson y Morley nos dice que para la propagación de la luz en el espacio debemos olvidar todo lo relativo al éter” no se corresponde con lo anterior, además, no se corresponde con las discusiones sobre el éter en el contexto del experimento.

Los autores explican que luego de ver la evidencia empírica están en condiciones de estudiar la relatividad restringida. Este posicionamiento nos deja la duda de si es que ellos mismos son empiristas como científicos o que evidencian y resaltan el empirismo al momento de escribir el texto de estudio. En mi opinión, existe la posibilidad de que la introducción de un tema de manera didáctica en un contexto de enseñanza tenga ciertas características que los científicos imitan a ultranza en sus exposiciones vinculadas a la historia de una teoría. Cuando escriben los textos privilegian las secuencias didácticas que para ellos son más “fáciles” para los estudiantes.

Con los textos de French (1991) ocurre algo peculiar, ya que en la bibliografía del programa de la asignatura “Física general y experimental I” solo aparece recomendado el tomo III *Mecánica newtoniana*. Sin embargo, cuatro de los profesores utilizan un texto del mismo autor, *Relatividad Especial*, que no aparece en el programa. Uno de los profesores dice: “en el capítulo 1 de French se describe un experimento en donde se demuestra que hay una velocidad límite para las partículas, es la velocidad de la luz, [experimento] que fue hecho muy posterior al descubrimiento de la relatividad. Pero, sin embargo la introducción... al tema es

ese...”²⁸

Al revisar este libro, el lector se encuentra con una exposición interesante, que no se corresponde con la mencionada visión empirista del experimento de M-M en relación con la teoría de la relatividad especial.

French, desde mi punto de vista, llega a las conclusiones de la relatividad especial utilizando una estrategia de enseñanza tomada de la serie de libros del Massachusetts Institute of Technology (MIT), la cual pretende destacar la interacción de la experimentación y la intuición en el desarrollo de las teorías físicas.

El libro de French pretende ser una introducción a nivel universitario a la teoría de la relatividad especial (cinemática y dinámica). El autor opta, en mi opinión, por un camino tradicional en la enseñanza del tema en este nivel, ya que explicita que el método utilizado para introducir la teoría no tiene en cuenta sus vínculos con la teoría electromagnética, sino que se concentra en los problemas de cinemática y dinámica. Destina sólo un capítulo a aclaraciones que la relatividad puede proporcionar respecto a la relación existente entre dicha teoría y la electricidad y el magnetismo. Es significativo que realice esta aclaración, pues la tradición en la enseñanza de la relatividad no se condice con el contexto en que ella surge. Al respecto, Einstein y otros (2005: 65) en su trabajo sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento expresa que “sabido es que al aplicar la electrodinámica de Maxwell –tal como se suele entender normalmente hoy día– a cuerpos en movimiento, aquella conduce a ciertas asimetrías que no parecen ser inherentes a los fenómenos. Piénsese, por ejemplo, en la acción electrodinámica recíproca de un imán y un conductor”.

En el primer capítulo “Desviaciones de la dinámica newtoniana”, el autor presenta experimentos y una discusión teórica dirigida a explicar que “el comportamiento de las partículas a velocidades muy elevadas no puede describirse en modo alguno mediante la dinámica newtoniana” (French, 1991: 31-32). En el segundo, expone

28 Documento: Entrevistas\entrevista Mario E2 Posición:48 – 48 Código: textos\French

algunos de los problemas que involucraron a la naturaleza de la luz, dedica una sección al “éter luminífero”, otra al preámbulo del experimento de M-M y una tercera al experimento.

Se puede decir que logra una estrategia de enseñanza que valora el experimento de M-M como un experimento negativo, reforzando la posición de la innecesidad del éter. El autor insiste en el asunto varias veces en el texto. En el capítulo cinco, que trata la cinemática relativista, presenta el experimento de Cedarholm Townes de 1959, realizado con dos máseres de gas de amoníaco, y lo compara con el de M-M. En lugar de medir un corrimiento en las franjas de interferencia, estos investigadores miden el corrimiento en las frecuencias, el cual no detectaron en un orden superior a 0,02 Hz. French (1991) cierra la descripción diciendo que ello impone un límite superior cercano a 30m/s (es decir 1/1000 de la velocidad orbital de la Tierra) a la velocidad v [del viento de éter], por lo que puede considerarse un golpe de gracia a la hipótesis del éter fijo [referido a un sistema de referencia absoluto].

Coincide con lo manifestado por uno de los profesores, quien cierra un comentario con una metáfora del modo que sigue:

La idea del experimento de M-M que es lo que buscaban encontrar y qué es lo que realmente encontraron. El hecho de que en definitiva... la teoría de la relatividad es postulada y que esos postulados hay que aceptarlos y que después esos postulados te obligan a mirar la realidad yo creo que ahí está lo más valioso ¿no? En el fondo es un experimento negativo en el fondo los experimentos negativos es como en el fútbol un partido perdido...²⁹

Entonces, en el texto más utilizado en los cursos, el experimento de M-M aparece reinterpretado según los postulados de la relatividad especial.³⁰

29 Documento: Entrevistas\entrevista Luis E4 DV Posición: 14 – 14 Código: el experimento de MM\Si utiliza el experimento de MM\lo utiliza desde la reinterpretación

30 Utilizo indistintamente los términos “postulados” y “principios”, a pesar de que el primero está más ligado a las teorías matemáticas y el segundo a las físicas, pues, en general, se ha empleado el primero en lugar del segundo en las traducciones de los textos.

5. Conclusiones

Este apartado se estructura en dos secciones, una presenta las consideraciones finales y la otra expone la propuesta de enseñanza.

5.1. Consideraciones finales

Recapitulando, el objetivo principal de este trabajo fue la elaboración de una estrategia de enseñanza a partir de un enfoque interdisciplinario, para ser aplicada en la formación de profesores de física en Uruguay. Decidí abordar, como tema general, el tratamiento que se hace del experimento de Michelson y Morley de 1887 cuando se presenta la teoría de la relatividad especial. Para cumplir con este objetivo tuve en cuenta, fundamentalmente, las investigaciones de Cassini y Levinas (2005) referidas a este experimento, cómo fue históricamente presentado e interpretado y cuáles fueron sus verdaderos vínculos con la formulación de la teoría de la relatividad especial.

Adentrarme en el campo de la HFC e integrar contenidos específicos de este a la enseñanza, en el dictado del curso durante el 2011, me implicaron nuevos aprendizajes, que me llevan a apartarme de propuestas como la de Fernandes Trindade (2008), quien plantea la introducción de una asignatura aislada e independiente de HFC en el plan de estudios. Pienso que una asignatura con dicho contenido contribuye más a la parcelación del conocimiento que a la interdisciplinariedad, que es uno de los fundamentos de mi propuesta.

En la propuesta indico la lectura del artículo de Cassini y Levinas (2005), acompañando al libro de texto, con ello me separo de las estrategias que los profesores han expresado. Las entrevistas muestran que, en general, para sus prácticas de enseñanza los profesores no seleccionan aportes de la HFC, sino que se adhieren al uso exclusivo de libros de texto, con los inconvenientes señalados en el análisis.

A pesar de ello, se evidencian ciertas posiciones disímiles con respecto a la incorporación de la HFC en el tratamiento de los temas en clase. En una de las entrevistas la profesora, que está en desacuerdo con el uso de la historia de la ciencia en cuestión, utiliza argumentos sobre la inconmensurabilidad de las teorías al momento de defender su estrategia de enseñanza. En su fundamentación señala que la teoría de la relatividad especial, a partir de dos principios, reestructura los conceptos clásicos de espacio y tiempo, por lo tanto, ya no se trata de los mismos conceptos. Su postura entiende que los conceptos clásicos pierden importancia a la hora de ser enseñados. También, el sitio web de su curso contiene aportes de la HFC.

En otra entrevista un profesor expresa que, como el experimento no tuvo incidencia en la teoría de la relatividad, él no lo jerarquiza, sino que solamente lo menciona y señala que lo que tiene impacto sobre los estudiantes es lo que M-M quieren medir, es decir, la velocidad de la Tierra respecto al éter.

En relación con esto, sostengo que la reinterpretación del experimento de M-M después de la teoría de la relatividad permite conjeturar que no se trata de la misma estructura léxica que utilizaban los científicos en el contexto del experimento, cuestión que según Kuhn (2002) no impide su aprendizaje. Asimismo, aprender diferentes estructuras lexicales (teorías científicas) facilita que los sujetos tengan acceso a diferentes códigos lingüísticos (Van Dijk, 1994). Incluso, la utilización de experimentos cruciales de la forma que propongo permite vivir una experiencia educativa que utiliza elementos del contexto histórico y filosófico en que se interpreta la práctica científica.

Con respecto a los textos, entiendo que se deben utilizar también para mostrar cómo los autores presentan la estructura argumentativa de las teorías científicas y cómo estos reconstruyen el contexto de producción de conocimiento científico, atendiendo a diferentes cuestiones: valoraciones didácticas, concepción de aprendizaje, economía de tiempo y recursos. Estas últimas por lo general las explicitan al comienzo, por ejemplo, en la introducción.

A modo de ejemplo, a French (1991) le interesa que al lector le queden claros los principios. Al jerarquizar el primero (las mismas leyes de la electrodinámica y de la

óptica son válidas en todos los sistemas de referencia para los que son ciertas las ecuaciones de la mecánica, Einstein y otros, 2005), insiste en mostrar la no existencia de un referencial absoluto, utilizando en su argumento el experimento de M-M. Cuando jerarquiza el segundo principio (la invariancia de la velocidad de la luz), sobredimensiona las transformaciones de Lorentz. Sin embargo, entiendo que este último las había propuesto como una hipótesis para sostener la teoría del éter, como un medio sustentatorio de la luz en el modelo ondulatorio.

Interpretaciones de este tipo, es decir, metacientíficas son las que aporta mi propuesta, que no pretende ser una presentación de posturas epistemológicas, sino conjugar en una situación particular el nivel del estudio de la naturaleza física del mundo con el de la reflexión sobre cómo se produce el conocimiento físico.

No obstante, creo que habría que considerar (en el futuro, para ampliar este estudio) aquellos materiales de apoyo que los autores de los textos recomiendan, por ejemplo, lecturas ampliatorias del tema, sitios web relacionados y otros. Debería profundizarse en si se utilizan y de qué forma. Por ejemplo, el texto de Serway, Moses y Moyer (2006) recomienda el trabajo de Shankland del año 1963, el cual contiene un estudio sobre la incidencia del experimento de M-M y la formulación de la teoría de la relatividad especial.

Para cerrar estas consideraciones, propongo algunas respuestas a la pregunta: ¿qué finalidades (principios guía) se tendrían que tener en cuenta al diseñar una estrategia de enseñanza útil que permita introducir el rol histórico asumido por un experimento particular en la conformación de una teoría física, tomando en nuestro caso el de la teoría de la relatividad especial?:

- establecer de qué manera se diferencian y se complementan los contextos de descubrimiento y de justificación de una teoría y cómo ello debería ser considerado en la enseñanza de la ciencia con vistas a una mejor presentación de las hipótesis
- promover la comunicación de los léxicos (estructuras conceptuales individuales, Kuhn 2002) entre los integrantes del grupo-clase, con la finalidad de acordar y comunicar una estructura conceptual común
- instar a la reflexión personal sobre los procesos de aprendizaje en situaciones tanto

individuales como colectivas

-suscitar la discusión metacientífica en el grupo-clase del contenido específico (experimento particular en la teoría de la relatividad especial)

-promover la utilización de varios ejemplos de experimentos “cruciales” de distintas clases, o bien la aplicación del experimento de M-M a otros contextos históricos

La parte que sigue es una nueva fase de pre-acción en la cual realizo el diseño de la estrategia, para luego pasar a la acción y a la regulación del proceso, dentro de una teoría de la acción, como sostienen Sanmartí, Jorba e Ibañez (*apud* Pozo y Monereo, 1999).

En una fase posterior sería interesante realizar observaciones o grabaciones de clase y acceder a entrevistas a estudiantes y docentes involucrados, de modo de generar la mayor consistencia posible en el diseño.

5.2. Propuesta³¹

El educador aprende primero a enseñar, pero también aprende a enseñar al enseñar algo que es reaprendido por estar siendo enseñado (Freire, 1994).

Supuestos

Supuestos que sostienen el diseño de la secuencia didáctica (estrategia de enseñanza):

A. Metodológicos:

a.1. Las personas aprenden en comunión con los demás mediante la educación dialógica.

a.2. El conocimiento a ser enseñado difiere del generado en su proceso de producción, se restringe el código léxico y comunicacional a situaciones en las que

31 Esta propuesta (diseñada sobre la base de las experiencias recogidas durante el año 2011 y de la profundización en ciertos aspectos del marco teórico) constituye una modificación de la propuesta original presentada en el Anexo II.

se valora fundamentalmente la facilidad y la uniformidad de los aprendizajes frente a la creatividad del contexto de producción.

a.3. No es posible diseñar para todas las situaciones de enseñanza una única metodología. En cambio es posible analizar un caso que oficie de metáfora para otros. No es posible el ideal de Comenio: *crear un procedimiento que permita enseñar todo a todos*.

B. Supuestos que dan cuenta de los resultados de otras investigaciones realizadas en otros contextos:

b.1. Los estudiantes de profesorado de física han incorporado una imagen ingenua de la producción de conocimiento científico.

b.2. En su formación, los estudiantes tienen pocas oportunidades de acercarse a trabajos publicados en el contexto de producción de conocimiento.

Diseño de la estrategia

La primera consigna a los estudiantes tiene que plantear la necesidad de llevar un registro escrito, un diario de aprendizaje individual y colectivo, que se tendrá que entregar periódicamente para el seguimiento del proceso de enseñanza y aprendizaje que realice el docente.

Módulo 1

Tratar de socializar en el interior del grupo-clase. Indagar, por un lado, qué entienden los estudiantes por conocimiento científico y, por otro, los conocimientos que tienen sobre la relatividad especial, en especial, del experimento de M-M.

Para lograrlo, se proponen dos actividades, una de realización en el acto y otra que se va efectuando a medida que transcurre el curso.

Primera actividad

Técnica foto-lenguaje

Socializar la respuesta a la pregunta: ¿qué entienden por conocimiento científico?

Utilizar la técnica denominada “foto-lenguaje”. En esta técnica “no se hace ninguna preparación anterior. Diez fotos aparecen dispuestas sobre una mesa. Las explicaciones que se dan están referidas a la sección (...) si no se anuncia el contenido exacto de la experiencia es para no influir sobre los alumnos” (Clair, 1996:

86).

Consigna

Elegir entre las fotos que se ven sobre esta mesa la que representa mejor cómo entiende el conocimiento científico, la relatividad especial y el experimento de M-M.³²

Las imágenes pueden ser pinturas de diferentes artistas y momentos históricos que hacen referencia al conocimiento.³³ En esta técnica, cada estudiante selecciona una de las imágenes y expresa verbalmente por qué la seleccionó y cómo la interpreta. Durante toda la actividad se registran las observaciones e intervenciones de todos los integrantes del grupo-clase, con la finalidad de recuperarlas si se considera necesario.

Segunda actividad**Actividad metacognitiva**

La segunda actividad se lleva a cabo durante el desarrollo del curso. Consiste en completar una tabla, con las respuestas individuales y con las colectivas

Tabla 1. Actividad metacognitiva

¿Qué saben de M-M y cuál es su relación con la formulación de la relatividad especial (RE)?	¿Qué cosas relevantes aprendemos de M-M y de su relación con la formulación de la RE?	¿Qué conclusiones diferentes tenemos ahora de los vínculos de M-M y RE?	¿Qué nos falta saber o no se sabe?
Se responde al comienzo			

Módulo 2

En este módulo se realiza la contrastación entre el artículo de M-M del año 1887 (Lectura 1. Tabla 2) y lo que los estudiantes registraron en la primera columna de la Tabla 1.

Esta actividad se fundamenta en el concepto de experiencia educativa, que implica tanto el nivel vivencial de una actividad como su reflexión teórica. Esta reflexión se

32 Es probable que se repita el procedimiento para cada pregunta. También esta metodología funciona de evaluación inicial del grupo-clase.

33 Las imágenes se pueden ver en CD adjunto.

concreta al comparar con las lecturas seleccionadas.

El estudiante debería realizar la experiencia educativa de efectuar la traducción de uno o dos párrafos iniciales o de los finales del artículo, en forma escrita (manual o digital).

Luego, colectiviza en el grupo-clase lo realizado. Comenta las certezas y dificultades a las que se enfrentó y cómo las solucionó. Realiza los registros escritos correspondientes.

Las preguntas guía pueden ser:

¿es posible una traducción término a término?

¿cómo se resolvieron las dificultades de la traducción?

Se recomienda la Lectura 2 (Tabla 2) para tomar una posición común respecto a esta fase.

Completan entre todos la segunda columna de la Tabla 1.

Módulo 3

Se efectúan preguntas que impliquen la búsqueda a partir de la lectura de los supuestos explícitos en el texto:

¿qué interpretaciones en torno a la aberración estelar están en juego como antecedentes al experimento?

¿cuáles son las hipótesis explícitas? Discriminar diferentes niveles de hipótesis y las teorías que les otorgan sentido.

¿cuáles son las medidas directas que se proponen obtener?

¿qué resultados esperaban obtener M-M? ¿cómo son las conclusiones?

Las preguntas y etapas de análisis que presento por separado no necesariamente tienen que efectuarse linealmente. Es fundamental tener en cuenta las características del grupo-clase para tomar una decisión al respecto. Incluso, se podrían utilizar lecturas adicionales con la finalidad de acercar a los estudiantes al contexto del experimento, las secciones 1 y 2 de Cassini y Levinas (2005) dan la información necesaria.

Módulo 4

En esta etapa pretendo que los estudiantes identifiquen algunos de los supuestos implícitos. Así se va delineando una posición sobre el carácter de la prueba que

ofrece un experimento. Considero que una concepción muy arraigada es que los experimentos constituyen el modo de probar las teorías, o en el otro extremo que de ellos emana la teoría (empirismo).

Se propone a los estudiantes como tarea que completen la primera columna de la tabla que sigue.

Supuestos implícitos que identifican los estudiantes.	Supuestos que identifican los autores de la Lectura 3 (Cassini y Levinas)

En esta fase se introduce una lectura que permita la reconstrucción del contexto en el que se efectúa el experimento. Lectura 3 (Tabla 2). Tienen que comparar la posición de Cassini y Levinas con las propias. La actividad primero es individual y luego colectiva. Completan en ambos casos la segunda columna de la tabla anterior.

Módulo 5

En esta fase se introduce la lectura sobre la posición de Lorentz y el contexto anterior a 1905. Lectura 4 (Tabla 2).

Consigna

Revisar las conclusiones expuestas por M-M en la Lectura 2, luego pasar a la Lectura 4 y de este modo realizar las comparaciones que correspondan.

Las preguntas guías pueden ser:

¿cómo caracterizan una teoría de la luz?

¿cómo funciona la hipótesis del éter?

Módulo 6

Se propone como tarea a cada estudiante diseñar de forma individual un mapa conceptual.

Consigna

Elaborar un mapa conceptual con las dos interpretaciones: la de M-M y la de Lorentz.

En esta actividad lo ideal es que surjan diferencias, dudas, preguntas entre lo que se

ha elaborado y la lectura indicada en el módulo 5.

En una segunda fase se elabora otro mapa conceptual entre todos los integrantes del grupo-clase.

Para finalizar el módulo, se les sugiere a los estudiantes, a modo de reflexión, una pregunta que los traslada a un escenario imaginario: ¿cómo se interpretaría el experimento de M-M en el contexto del siglo XVII? Analizan las posibles respuestas tratando de llegar a un acuerdo.

Módulo 7

En este módulo se realiza la introducción al trabajo de Einstein de 1905, mediante la Lectura 5 (Tabla 2).

Se propone la realización de un nuevo mapa conceptual que contenga los principios de la relatividad especial y muestre la reinterpretación del experimento de M-M después de 1905.

A esta altura cada estudiante está en condiciones de completar la segunda columna de la Tabla 1 (Actividad metacognitiva). Luego la expone al grupo y entre todos realizan una en común, que también se registra.

Módulo 8

Los estudiantes deben recurrir a los libros de texto que han empleado en los cursos.

La actividad cognitiva a esta altura requiere un nivel mayor de abstracción, pues el estudiante tiene que comparar lo realizado con la forma en que se expone el tema en los textos. No tendrían que ser más de tres o cuatro textos cada ocho a diez estudiantes.

En una primera fase, cada estudiante realiza un resumen del experimento de M-M y su relación con la RE, según el texto que le haya tocado en la distribución. La forma de la asignación de estos tendría que ser coordinada en conjunto por todos los participantes del grupo-clase. Sería apropiado tener en cuenta algunos criterios como el acceso, las actitudes de los estudiantes, tratando de evitar lo más posible que se generen brechas en el interior del grupo.

En una segunda fase, se realizan subgrupos que respondan a la condición de haber tratado el mismo texto. El objetivo es que cada estudiante mejore su resumen, teniendo en cuenta los aportes y sugerencias que le realicen los demás integrantes del subgrupo.

Finalizan el módulo con un informe de todo el grupo-clase, que debe exponer las conclusiones a las que lleguen, luego de que todos los subgrupos presenten el resumen realizado con cada texto.

Módulo 9

En este módulo se incluye la Lectura 6, con la finalidad de relacionar lo realizado con los modos de producción de conocimiento científico según Kuhn. Dicha lectura es un resumen (texto enriquecido) que he realizado para esta secuencia.

Los conceptos relevantes son “holismo semántico acotado”, “estructura léxica” e “inconmensurabilidad”.

A lo anterior se le agrega la Lectura 7, en la cual los autores analizan “la importancia de los contextos históricos y de los correspondientes presupuestos que operaron en el desarrollo del problema de la medición de la velocidad de la luz, con vistas a establecer las razones por las cuales la relatividad especial, a pesar de resultar una teoría tan poco intuitiva, se impuso sobre otras teorías rivales” (Cassini y Levinas 2005:549).

Se organiza un debate en el grupo-clase, la pregunta que lo dispara es: ¿responden a la misma estructura léxica la teoría de la relatividad especial y la teoría de Lorentz con la hipótesis de la contracción de longitudes?

En dicho debate se tienen que distribuir los roles de moderador y participantes en forma alternada. En subgrupos efectúan un artículo sobre el debate, (como si fuera a publicarse). Se co-evalúan los trabajos, realizando en forma escrita un nuevo informe.³⁴

Módulo 10

La actividad del grupo-clase en este módulo consiste en efectuar una mesa redonda.

El tema a debatir es: ¿cómo influye el caso del experimento crucial analizado en la elaboración de planificaciones de temas a ser enseñados en las aulas de educación secundaria media?; ¿qué haríamos y qué no?

Cada estudiante lleva un registro del debate.

34 Es en la práctica de aula que cada uno experimenta diferentes niveles de análisis sobre una cuestión.

En este módulo se incentiva la proyección de lo estudiado a otros casos, como puede ser el experimento de la torre de Galileo o el de un barco observado desde la costa (Levinas, 1998, 2010).

Módulo 11

Cada estudiante elabora un trabajo de corte monográfico sobre los temas tratados, debe incluir una reflexión en retrospectiva del proceso seguido.

Se intercambian los trabajos realizados, con la finalidad de construir un trabajo final de todo el grupo-clase (actividad colaborativa).

Actividad final

Se lleva a cabo la etapa de regulación de la acción en forma presencial en el aula, para ello se evalúan las actividades realizadas.

Se sugiere al docente hacer un cuestionario a aplicarse individualmente, en el cual los indicadores provienen de los supuestos planteados al comienzo de la propuesta.

Se vuelve a aplicar la técnica de foto-lenguaje con modificaciones. Cada estudiante selecciona la misma imagen que le tocó analizar al comienzo y explica a los demás su experiencia en el proceso, tratando de mostrar qué ha cambiado de sus concepciones y qué ha permanecido.

Acotaciones

En esta propuesta se sugiere calcular la longitud de onda de cierta radiación visible, utilizando el interferómetro de Michelson, con el fin de fijar ideas.³⁵ En este sentido, los contenidos conceptuales y procedimentales que adquiere el estudiante al experimentar por sí mismo desplazan la preponderancia de aspectos más teóricos de la propuesta.

Se pueden introducir algunos problemas con cálculo, en los cuales los estudiantes analicen las hipótesis implícitas y explícitas que se tienen que considerar. En estos casos es interesante la utilización del concepto de modelo físico.

En la elaboración de los mapas conceptuales se podría utilizar la herramienta

³⁵ El laboratorio de física del IPA ha incorporado interferómetros de Michelson, con los que es posible calcular la longitud de onda de la luz procedente de una fuente determinada.

(<http://cmap.ihmc.us/>) presentada en el anexo VI.

Tabla 2. Lecturas obligatorias

Número	Referencia
1	Michelson, A. y E., Morley (1887) pp. 333-345.
2	Michelson, A. y E., Morley (2005) pp. 35-46.
3	Cassini, A. y L. Levinas (2005) pp. 555-561. Sección 3 “El experimento de Michelson-Morley”.
4	Cassini, A. y L. Levinas (2005) pp. 561-564. Sección 4 “La interpretación del experimento antes de 1905”.
5	Cassini, A. y L. Levinas (2005) pp. 564-569. Sección 5 “Los postulados de Einstein”. Cassini, A. y L. Levinas (2005) pp. 569-573. Sección 6 “La interpretación del experimento después de 1905”.
6	Acland, A. (inédito) Resumen enriquecido de <i>¿Qué son las revoluciones científicas?</i> (Kuhn, 1989).
7	Cassini, A. y L. Levinas (2005) pp. 573 al final “Conclusiones”.

Bibliografía mínima para el estudiante

Acland, A. (inédito) Resumen enriquecido de *¿Qué son las revoluciones científicas?* (Kuhn, 1989). Versión realizada para el curso.

Cassini, A. y L. Levinas (2005) “La reinterpretación radical del experimento de Michelson-Morley por la relatividad especial”. En: *Scientiae Studia, Revista Latino-Americana de Filosofía e Historia da Ciência*, Sao Paulo, 3 (4), 547-581.

Kuhn, T. S. (2002) “Commensurabilidad, comparabilidad y comunicabilidad”. En: Kuhn T. S., *El camino desde la estructura*, 47-76. Selección de citas referidas a la traducción.

Michelson, A. y E. Morley (1887) “On the Relative Motion of the Earth and the Luminiferous Ether”. En: *American Journal of Science, Third Series*, 332-345.

Michelson, A. y E. Morley (2005) “Sobre el movimiento relativo de la Tierra y el éter luminífero”. En: Einstein, A. y otros. *Teoría de la relatividad*. Buenos Aires, Esse Servicios editoriales, 35-46.

Sitio web: <http://cmap.ihmc.us/>

Bibliografía

Arriasecq, I. e I. Greca (2005) “Análisis de aspectos relevantes para el abordaje de la Teoría de la Relatividad Especial en los últimos años de la enseñanza media desde una perspectiva contextualizada histórica y epistemológicamente. Primera parte”. En: *Revista de Enseñanza de la Física*, 18 (1), 17-24.

_____ (2005) “Análisis de aspectos relevantes para el abordaje de la Teoría de la Relatividad Especial en los últimos años de la enseñanza media desde una perspectiva contextualizada histórica y epistemológicamente. Segunda parte”. En: *Revista de Enseñanza de la Física*. 18 (2), 17-28.

Ayuste, A. y J. Trilla (2005) “Pedagogías de la modernidad y discursos posmodernos sobre la educación”. En: *Revista de Educación*, (336), 219-248.

Carranza, I. (2010) “La escenificación del conocimiento oficial”. En: *Discurso & Sociedad*, 4 (1), 1-22.

Carrascosa Alís, J.; J. Martínez Torregrosa; C. Furió Mas y J. Guisasola Aranzábal (2008) “¿Qué hacer en la formación inicial del profesorado de ciencias de secundaria?”. En: *Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 5 (2), 118-133.

Carretero, M. (1996) *Construir y enseñar las ciencias experimentales*. Buenos Aires: Aique, Grupo Editor.

Cassini, A. y L. Levinas (2005) “La reinterpretación radical del experimento de Michelson-Morley por la relatividad especial”. En: *Scientiae Studia, Revista Latino-Americana de Filosofía e Historia da Ciência*, São Paulo, 3 (4), 547-81.

Chevallard, Y. (1997) *La trasposición didáctica. Del saber sabio al saber enseñado*. Buenos Aires: Aique, Grupo Editor.

Clair, R. (1996) *La formación científica de las mujeres ¿por qué hay tan pocas científicas?* Madrid: Los libros de la catarata.

Davini, M.C. (coord.) (1997) *La formación docente en cuestión: política y pedagogía*. Buenos Aires: Paidós.

Davini, M. C. (2002) *De aprendices a maestros. Enseñar y aprender a enseñar*. Buenos Aires: Papers Editores.

de Alba, A. (1995) *Posmodernidad y Educación*. México: Centro de Estudios sobre la Universidad. UNAM.

Dewey, J. (1953) *Democracia y Educación*. Buenos Aires: Editorial Losada.

Einstein, A. y otros (2005) *Teoría de la relatividad*. Buenos Aires: Esse Servicios editoriales.

Falguera, J. L. (2004) “Las Revoluciones Científicas y el Problema de la Inconmensurabilidad”. En W. González (ed.): *Análisis de Thomas Kuhn: Las revoluciones científicas*. Madrid: Trotta.

_____ (2011) *Identidad de conceptos científicos*. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Consultado 29/04/11. Disponible en: <http://www.fhuce.edu.uy/>: <https://sites.google.com/site/epistemologiadados/>.

Feldman, D. (1999) *Ayudar a enseñar*. Buenos Aires: Aique, Grupo Editor.

Fernandes Trindade, D. (2008) “A interface ciência e educação e o papel da história da ciência para a compreensão do significado dos saberes escolares”. En: Revista Ibero-Americana de educación. Consultado el 9/11/11. Disponible en: <http://www.rieoei.org/deloslectores/2562Fernandes.pdf>.

Fourez, G. (1997) *Alfabetización científica y tecnológica*. Buenos Aires: Colihue.

Freire, P. (1994) *Cartas a quien pretende enseñar*. México: Siglo XXI.

Gibbons, M.; C. Limoges; H. Nowotny; S. Schwartzman; P. Scott y M. Trow (1997) *La nueva producción del conocimiento. La dinámica de la ciencia y la investigación en las sociedades contemporáneas*. Barcelona: Ediciones Pomares-Corredor, S.A.

Giroux, H. (1990) *Los profesores como intelectuales. Hacia una pedagogía crítica del aprendizaje*. España: Paidós.

Hacking, I. (1996) *Representar e Intervenir*. México: Paidós/UNAM.

Ickowicz, M., T. Iuri y A. Trincheri (2006) “Universidad, docentes y prácticas. El caso de la UNCO EDUCO”. En S. Barco (comp.): *Del orden, poderes y desórdenes curriculares*. Comahue: Universidad Nacional del Comahue, 47-72.

Kuhn, T. S. (1982) *La Tensión Esencial*. México D.F: FCE.

Kuhn, T. S. (1989) *¿Qué son las revoluciones científicas? y otros ensayos*. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica S. A.

Kuhn, T. S (1990) “Dubbing and Redubbing: The Vulnerability of Rigid Designation”. En: C. W, Savage (ed.): *Scientific Theories*. Minnesota Studies in the Philosophy of Science, 14. Minneapolis: Minnesota University Press, 298-318. Versión en español: González, W. J. (2004) “Doblaje y redoblaje: La vulnerabilidad de la designación rígida”. En: W. J. Gonzalez (ed.): *Análisis de Thomas Kuhn: Las revoluciones científicas*. Madrid: Trotta, 105-13.

Kuhn, T. S. (2002) *El camino desde la estructura*. Barcelona: Paidós.

Kuhn, T. S. (2004) *La estructura de las revoluciones científicas*. Buenos Aires: FCE.

Lakatos, I. (1989) *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Alianza Editorial S.A.

Lemke, J. L. (1997) *Aprender a hablar ciencia. Lenguaje aprendizaje y valores*.

Barcelona: Paidós.

Levinas, L. (1996) *Ciencia con creatividad*. Buenos Aires: Aique, Grupo Editor.

_____ (1998) *Conflictos del conocimiento y dilemas de la educación*. Buenos Aires: Aique, Grupo Editor.

_____ (2000) *Historia de las ciencias, transmisión de conocimientos y participación social*. Buenos Aires: Oficina de Publicaciones de la Facultad de Filosofía y Letras (OPFYL), UBA.

Levinas, L. y M. Carretero (2010) “Conceptual Change, Crucial Experiments and Auxiliary Hypotheses. A Theoretical Contribution”. En: Springer Science+Business Media, LLC, 1-11.

Lewowicz, L. (2004) “El carácter no universal del lenguaje en las últimas obras de Kuhn”. En: *Análisis Filosófico* XXIV (2), 195-204.

Libaneo, J. C. (1991) *Didáctica*. San Pablo: Cortez.

Loureiro, S. (2011) *Análisis de las concepciones de ciencia que subyacen a los procesos educativos en el área científico – tecnológica*. Unidad de Enseñanza Facultad de Ingeniería (UEFI). Tesis de Maestría. Consultado 16/11/2011. http://www.fing.edu.uy/uni_ens/tesis_uefi.htm

Massoni, N. y M. Moreira (2010) “Un enfoque epistemológico de la enseñanza de la Física: una contribución para el aprendizaje significativo de la Física, con muchas cuestiones sin respuesta”. En: *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 9 (2), 283-308.

Matthews, M. (1991) “Un lugar para la historia y filosofía de las ciencias”. En: *Comunicación, lenguaje y educación*, 11-12, 141-155.

_____ (1994) “Historia, Filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual”. En: *Enseñanza de las ciencias*, 12 (2), 255-277.

Mellado V. y D. Carracedo (1993) “Contribución de la filosofía de la ciencia a la didáctica de las ciencias”. En: *Enseñanza de las ciencias*, 2 (3), 331-339.

Moledo, L. (2010, en prensa) Entrevista a L. Levinas. “El cambio conceptual: la trama de la ciencia”. *Página 12*.

Disponible en: <http://www.pagina12.com.ar/diario/ciencia/19-151096-2010-08-11.html>

Özdemir, G. y D. Clark (2007) “An Overview of Conceptual Change”. En: *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 3 (4), 351-361.

Pérez, H. (2003) *La teoría de la relatividad y su didáctica en el bachillerato: análisis de dificultades y una propuesta de tratamiento*. TDR, Tesis doctorales en red 2001-2011. Consultado el 12/12/09. Disponible en: <http://www.tesisenred.net/handle/10803/9633>.

Piaget, J. y J. García (1982) *Psicogénesis e historia de la ciencia*. México: Siglo XXI.

Porlán, R., E. García E. y P. Cañal (comps.) (1988) *Constructivismo y enseñanza de las ciencias*. Sevilla: Díada Editores.

Posner, G. *et al.* (1982) *Accommodation of a scientific conception*. En: *Science Education* (66), 211-227.

Pozo, J. I. y M. A. Gómez Crespo (1998) *Aprender y enseñar ciencias*. Madrid: Morata.

Pozo J. I. y C. Monereo (comps.) (1999) *El aprendizaje Estratégico*. Madrid: Aula XXI Santillana.

Rodríguez Moneo, M. (1999) *Conocimiento previo y cambio conceptual*. Buenos Aires: Aique, Grupo Editor.

Sanmartí, N., J. Jorba y V. Ibañez (1999) “Aprender a regular y a autoregularse”. En J.I. Pozo y C. Monereo (coords.) *El aprendizaje estratégico*. Madrid: Santillana, 301-322.

Schnotz, W., S. Vosniadou y M. Carretero (comps.) (2006) *Cambio conceptual y educación*. Buenos Aires: Aique, Grupo Editor.

Souto, M. (1993) *Hacia una didáctica de lo grupal*. Buenos Aires: Miño y Dávila.

Ten, A. (1978) “El experimento de Michelson-Morley y su influencia en los orígenes de la relatividad restringida”. En: *Revista de la Sociedad Española de Historia de la Ciencias y de las Técnicas*, (2), 42-50.

Terrazzan, E. (1992) “A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau”. En: *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 9 (3), 209-214.

Van Dijk, T. A. (1994) “Discurso, Poder y Cognición Social”. En: *Cuadernos N°2, Año 2. Maestría en Lingüística. Escuela de Ciencia del Lenguaje y Literatura de la Universidad del Valle*. Consultado 12/12/2011. Disponible en: <http://www.discursos.org/download/articles/index.html>.

Valles, M. S. (2007) *Técnicas cualitativas de investigación social*. Madrid: Síntesis.

Vaz, F. (1905) *Ideas y observaciones*. Montevideo: A Barreiro y Ramos, Imprenta Nacional.

Wodak, R. (2008) “Discourse Studies-Important Concepts and terms”. En: R. Wodak y M. Krzyzanowski (eds.) *Qualitative Discourse Analysis in the Social Sciences*. New York: Palgrave MacMillan, 1-29.

Fuentes documentales

Kittel, C., W. Knight y M. Ruderman (1968) *Mecánica* (Berkeley, Physics course)

Tomo I. México: Reverté.

French, A. (1991) Relatividad especial. Barcelona: Reverté.

Resnick, R. (1977) Introducción a la teoría especial de la relatividad. México: Limusa.

Serway, R.A.; C. J. Moses y C.A. Moyer (2007) Física Moderna. Buenos Aires: Thomson.

Eisberg, R. y R. Resnick (1980) Física cuántica. México: Limusa.

Sitios web

Asociación de Profesores de Física del Uruguay (APFU). Consultado el 13/11/2011.
<http://apfu.fisica.edu.uy/>

Asociación de Profesores de Física de Argentina (APFA). Consultado el 13/11/2011.
<http://www.apfa.org.ar/index.php>

Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (FCEIA). Consultado el 13/11/2011.
<http://www.fceia.unr.edu.ar/fceia/ojs/index.php/revista/article/view/169/pdf>

Facultad de Ingeniería (FING). Kahan, S. Física Moderna. Materiales. Consultado 2/11/2011. <http://www.fing.edu.uy/~skahan/fismodipa/materiales.htm>

Planes y programas curriculares

ANEP. ANEP/CODICEN/CFE. Planes y programas. Consultado 13/11/2011.
http://www.cfe.edu.uy/index.php?option=com_content&view=article&id=183%3Afisica&catid=157&Itemid=88

Departamento de Historia. Programa de historia social de la ciencia y de la técnica. Buenos Aires: Facultad de Filosofía y Letras UBA. Consultado 11/11/2011.
<http://www.filo.uba.ar/contenidos/carreras/historia/plan/cont/descripciondematerias.htm>

Anexos

Anexo I

Sistema educativo de Uruguay

<http://www.anep.edu.uy/aneportal/servlet/main003?17>

NIVEL	INSTITUCIÓN	CICLO O GRADO	DURACIÓN EN AÑOS
Inicial	CEIP	Inicial	■ ■ ■
Primaria		Primaria	1° 2° 3° 4° 5° 6°
Medio	CES/CETP	Ciclo Básico	1° 2° 3°
	CES	Bachillerato Diversificado	1° 2° 3°
	CETP	Bachillerato Tecnológico	1° 2° 3°
		Formación Profesional Básica (post Primaria + de 15 años)	■ ■ ■
		Técnico en Nivel Medio	■ ■ ■ ■ ■
		Formación Profesional Superior	■ ■
Terciario	CETP	Técnico Nivel Medio y Superior	■ ■ ■ ■ ■
	DFPD	Formación de Maestros y Profesores	■ ■ ■ ■ ■
	Universidad	Carreras de Grado (3 a 6 años)	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■

■ Niveles ■ ANEP ■ Educación obligatoria ■ Educación no obligatoria ■ Previos

CEIP: Consejo de Educación Inicial Primaria - ANEP

CETP: Consejo de Educación Técnico Profesional - ANEP

CES: Consejo de Educación Secundaria - ANEP

DFPD: Dirección de Formación y Perfeccionamiento Docente - CODICEN - ANEP

Anexo II

Propuesta

Proyecto interdisciplinario

Año 2011

ANEP - DFPD - IPA

2011

Lic. Alicia Acland

La historia y filosofía de la ciencia (en este caso de la física) como campo de conocimiento ha contribuido tanto a las teorías del cambio conceptual como a la actividad de los científicos en el contexto de producción. Con este proyecto se espera que dicho campo de conocimiento se integre a la enseñanza constituyendo un espacio de enseñanza y de aprendizaje en la formación de profesores de física. Se presenta a modo de ejemplo el caso del experimento de Michelson y Morley en relación con la relatividad restringida. Se propone que otros casos a analizarse surjan de la discusión con los estudiantes y constituyan el objeto de estudio del trabajo final de carácter monográfico.

Propósito del presente proyecto

Este proyecto de implementación de la asignatura denominada “Seminario: Proyecto interdisciplinario”, ubicado en cuarto año de la formación de profesores de física lo escribo con el propósito de presentarlo a la Sala local del Departamento de Física para ser discutido por sus integrantes en el marco de lo estipulado en el Plan 2008.

Se señala especialmente que lo expresado en esta propuesta se añade al programa de la asignatura con el cual se coincide.

Objetivos generales

- Otorgar a los estudiantes la posibilidad de examinar interdisciplinariamente el conocimiento de las ciencias físicas.
- Se pretende enseñar a reconocer que los marcos y hechos teóricos forman parte inseparable de lo que llamamos conocimiento.

Objetivos específicos

- Promover el aprendizaje de determinados temas a través de una secuencia didáctica de carácter interdisciplinario.
- Lograr que se valore el uso de las hipótesis auxiliares como factibles de intercambiarse con hipótesis fundamentales.
- Propiciar la creatividad y reflexión en grupo mediante un recurso mental que consiste en imaginar qué sucedería si el experimento crucial se realizara en otro contexto histórico.

A modo de fundamentación

En líneas básicas (a modo de un boceto) los supuestos que sostienen tal diseño son:

- En lo metodológico: Las personas aprenden en comunión con los demás

mediante la educación dialógica (P. Freire).

- El conocimiento ha sufrido históricamente un proceso de “pedagogización” (J. Varela). Como producto de este proceso los contenidos de enseñanza se han desplazado de los contextos de producción a los de enseñanza aún en los niveles terciario-universitario.
- Es posible analizar un caso de enseñanza que oficie de metáfora para otros.
- A modo de reflexión crítica y teniendo en cuenta que se puede caer en una visión simplista, se expresan ciertas hipótesis sobre la enseñanza y el aprendizaje de la física en el nivel medio que eventualmente podrían cambiarse si en la formación de profesores se incentivaran las intervenciones interdisciplinarias, sobre todo en lo que hace a la producción de conocimiento a ser enseñado.
- Los estudiantes han incorporado una imagen ingenua de la producción de conocimiento científico.
- En su formación han tenido pocas oportunidades de acercarse a los problemas suscitados en el contexto de producción de conocimiento.
- Se considera que de realizarse este proyecto se incorpora una cualidad al modo de aprendizaje científico sobre todo en el profesorado de ineludible rol reproductor cultural en la sociedad.

Metodología y contenidos a desarrollar

A continuación se presenta la planificación preliminar del caso de estudio propuesto para comenzar el curso. Se organiza en módulos que se extenderían hasta el comienzo del período de exámenes de julio.

En forma paralela al desarrollo de dichos módulos, cada estudiante tendrá que elaborar una investigación de carácter monográfico. El objeto de estudio se seleccionará en acuerdo con el docente. Se propone que su desarrollo se realice a partir del mes de julio hasta el mes de setiembre inclusive. Las clases de este período estarán destinadas a dicho propósito. Se espera que durante el mes de octubre se realicen las presentaciones a modo de ponencia de los respectivos trabajos.

Módulo 1

Indagación

Se trata de socializar al interior del grupo clase los conocimientos que tienen los estudiantes sobre la relatividad especial y en especial sobre el experimento de M-M.

La indagación se efectúa a través de la técnica denominada foto lenguaje. Las imágenes tienen que provenir de los textos y de artículos de época incluyendo los dibujos realizados por los autores. Se fundamenta esta selección en la necesaria creatividad que conlleva el método y en el supuesto reconocimiento de las imágenes por parte de los estudiantes.

Durante toda la actividad se registran las observaciones, intervenciones de todos los integrantes del grupo-clase, con la finalidad de recuperarlas en el momento que se considere necesario.

Módulo 2

Contrastación entre el artículo de M-M 1887 y los registros de la indagación

precedente.

Se sigue con la lectura personal (primero) y colectiva (después) del trabajo de M-M (1887).

Se establece aquí un link a la Lectura 1:

Se efectúan preguntas que impliquen la búsqueda a partir de la lectura de los supuestos explícitos en el texto.

Supuestos explícitos:

¿Qué posición asumen M-M frente a la teoría corpuscular de la luz? ¿Y frente a la teoría ondulatoria?

¿Qué interpretaciones en torno a la aberración estelar están en juego como antecedentes al experimento?

¿Aparecen referencias a otros estudios?

¿Cuáles son las medidas directas que se proponen obtener?

Describe brevemente el experimento realizado.

¿Qué resultados esperaban obtener M-M? ¿Cómo describen las conclusiones?

Comparación entre respuestas.

Se sigue una necesaria comparación entre las ideas explicitadas en la técnica de foto lenguaje y las respuestas a las preguntas de la guía en el apartado anterior. Se supone que las etapas de análisis que estamos presentando separadamente no necesariamente no tienen por qué efectuarse diferidas en el tiempo, y pueden presentarse simultáneamente.

Módulo 3

Introducción de una lectura que permita la reconstrucción del contexto en el que se efectúa el experimento.

Lectura 2.

Análisis de la Lectura 2.

En esta etapa se tienen que llegar a identificar algunos de los supuestos implícitos por M-M desde el punto de vista de los estudiantes. Así se va delineando una posición sobre el carácter de la prueba que ofrece un experimento, pues se considera que una concepción muy arraigada es que los experimentos constituyen el modo de probar las teorías, o en el otro extremo que de ellos emana la teoría (empirismo) y en pocos casos falsar enunciados (Carretero, 1996).

Se propone a los estudiantes como tarea que completen la tabla que sigue:

Supuestos implícitos que identifican los estudiantes.	Supuestos que identifican los autores de la Lectura 2 (Cassini y Levasseur)

Se sugiere agregar en esta etapa a modo de reflexión la pregunta sobre un escenario imaginario: ¿Cómo se interpretaría el experimento de M-M en el contexto del siglo XVII?

Módulo 4

En esta etapa se introduce la lectura sobre la posición de Lorentz.

Consigna: Revisemos las conclusiones expuestas por M-M en la Lectura 1, para luego pasar a la Lectura 3 y de este modo realizar las comparaciones que correspondan.

Lectura 3.

Se elabora un mapa conceptual con las dos interpretaciones la de M-M y la de Lorentz, de este modo nos situamos en el contexto previo a 1905.

Módulo 5

Introducción al trabajo de Einstein de 1905. Postulados de la relatividad especial.

Lectura 4.**Módulo 6**

Lectura de la presentación del experimento de M-M en un texto de estudio seleccionado por el estudiante.

Utilización de un problema del texto como ejemplo para su análisis centrado en las preguntas: ¿Cuál es la similitud del problema con el experimento descrito por M-M 1887?

¿Podrías enunciar los supuestos del problema antes de realizar los cálculos?

Un ejemplo:

Lectura 6 Cap. 1 Serway, Moses y Moyer. PROBLEMA 4 p.37

Módulo 7

Se propone una discusión con la técnica “Mesa redonda”, sobre las explicaciones que los estudiantes elaboren en relación con las similitudes y diferencias que surjan entre el contenido de los textos y el contenido socializado en las clases anteriores.

Lectura 7.

Se utiliza como aporte a la preparación de la actividad anterior.

Notas

Si bien actividad del módulo 6 se presenta casi al final, se va realizando en forma paralela al cursillo. El análisis de las situaciones problemas de lápiz y papel, se les propone habitualmente a los estudiantes en los cursos, por eso se las utiliza. Ahora se pone el énfasis en los supuestos explícitos e implícitos que se asumen, con la finalidad de promover la contextualización de dichas situaciones y de que el docente pueda ir interiorizándose de los avances y dificultades que se van presentando.

Acreditación y evaluación de la asignatura**Seminario Proyecto Interdisciplinario**

El estudiante tendrá que llevar un registro exhaustivo de todas las actividades tanto individuales como grupales. Este material constituye parte del proceso de auto-evaluación, pues le permite comparar diferentes momentos de su aprendizaje, incluso del colectivo (co-evaluación), si se logran intercambiar la información.

Se valorarán, además de los tópicos presentes en el programa del Seminario: Proyecto Interdisciplinario la expresión oral y escrita de las auto y co-evaluaciones realizadas sobre la metodología seguida y de la comprensión lograda por cada uno de los participantes desde su perspectiva. También se valorarán las intervenciones destinadas a modificar la secuencia en otras implementaciones a realizar.

El aprovechamiento del seminario se concreta en la realización de una investigación de carácter monográfico. Se reitera que dicho producto se elabora fundamentalmente durante la segunda parte del curso con las entregas acordadas y pautadas, con la

entrega del trabajo escrito final (pautado en el programa respectivo) y la presentación pública a modo de ponencia. La bibliografía que corresponda tendrá que elaborarse con el docente.

Tabla de lecturas

Número	Referencias
1	Michelson, A. y E. Morley (1887), pp. 333-345. Michelson, A. y E. Morley (2005), pp. 35-46.
2	Cassini, A. y L. Levinas (2005), pp. 555-561.
3	Cassini, A. y L. Levinas (2005), pp. 561-564.
4	Cassini, A. y L. Levinas (2005), pp. 564-569.
5	Cassini, A. y L. Levinas (2005), pp. 569-573.
6	Lectura del tema en un texto de estudio.
7	Cassini, A. y L. Levinas (2005), pp. 573-577.

Bibliografía específica del caso presentado

Cassini, A. y L. Levinas (2005) “La reinterpretación radical del experimento de Michelson-Morley por la relatividad especial”. En: *Scientiae Studia, Revista Latino-Americana de Filosofía e Historia da Ciência*, Sao Paulo, 3 (4), 547-81.

Michelson, A. y E. Morley (1887) “On the relative motion of the earth and the luminiferous ether”. En: *American Journal of Science*, 34, 333-345.

Michelson, A. y E. Morley (2005) “Sobre el movimiento relativo de la Tierra y el éter luminífero”. En: Einstein, A. y otros: *Teoría de la relatividad*. Buenos Aires: Esse Servicios editoriales.

Serway, R., Moses, C. y C. Moyer (2006) *Física Moderna*. México: Thomson.

CFE – IPA – Especialidad Física Plan 2008

Curso 4º - asignatura: Seminario Proyecto interdisciplinario

Evaluación de la propuesta aplicada durante el año 2011

Características del grupo-clase

Al igual que las demás asignaturas que conforman el curso de cuarto año ésta presenta un bajo número de estudiantes, en este caso contó con un estudiante.

Al comienzo del curso pasamos por un periodo de adaptación en el que pensé que no se podía llevar adelante la propuesta. Mediante acuerdos, y ayudada por una posición muy responsable del estudiante, pude reorientar y adaptar la propuesta para dicho grupo-clase (¡tan particular!) integrado por un estudiante y su profesora.

Para organizar este análisis y reflexión voy a seguir la estructura del proyecto implementado.

Reflexiones sobre los objetivos generales y específicos



Maestría en Enseñanza Universitaria

Comisión Sectorial de Enseñanza
Área Social y Artística
Consejo de Formación en Educación



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY



comisión sectorial
de enseñanza



Facultad
de Humanidades
y Ciencias de la Educación



Consejo de
Formación en
Educación

El estudiante tuvo un muy buen desempeño en todas las tareas que propuse, finalizó su curso con MBS (10). El Prof. Pablo García participó en la corrección del segundo parcial. Si bien la calificación no nos da toda la información que pretendemos, algo dice.

Fue un curso marcado por un déficit de unas 8 clases presenciales (16 horas/clase) debido a un problema personal que tuve (licencia médica), sin embargo pienso que se logró llegar a la concreción de los objetivos. El uso de la Web y del correo electrónico fueron fundamentales, aportaron agilidad y aprovechamiento del curso, pues el estudiante entregaba y le podía devolver corregido lo realizado entre cada sección (2 horas/clase).

Puedo decir que al cabo del año, el estudiante ha llegado a comprender el contenido de los objetivos específicos y generales planteados, dependiendo de él la incorporación a sus clases de lo aprendido. La evaluación del curso que él realizó en la instancia del segundo parcial me permite suponer que aplicará en sus clases parte de los contenidos. Sobre todo, aquellos referidos a electromagnetismo (efecto Oersted 1820) que fue el tema del segundo parcial. En cuanto a los primeros, el experimento de M-M en relación con la relatividad especial, es seguro que incidirán en los cursos de sexto año del nivel medio.

Modificaciones realizadas a la propuesta

En la tabla que sigue se presentan las modificaciones realizadas al diseño propuesto en el proyecto 2011. La readecuación al grupo-clase se considera una etapa fundamental.

Planificación Propuesta	Modificaciones
No estaba previsto en la propuesta.	Se comenzó ubicando la interdisciplinariedad como tema. Lecturas Acland A. y C. Roso (2007) <i>Interdisciplinariedad</i> . Guía de estudio de Didáctica III de Física, PS. Matthews, M. (1991) “Un lugar para la historia y la filosofía en la enseñanza de las ciencias”. En: <i>Comunicación Lenguaje y Comunicación</i> , 11-12, 141-155.
Módulo 1 El intercambio entre diferentes concepciones del experimento de M-M no se efectuó.	El estudiante escribió sobre el experimento de M-M, es de destacar que él también cursa la especialidad Astronomía, el análisis se realizó sobre lo expresado por ambos (profesor-estudiante).
Módulo 2 No se realizó la etapa de intercambio de opiniones, con lo cual opté por discutir desde lecturas del propio Kuhn citadas en la bibliografía.	No solo se realizó la lectura del artículo de 1887, sino que realizó la traducción. En este proceso el estudiante pudo sensibilizarse de la postura de Kuhn referida al holismo semántico acotado, al problema de la estructura léxica, de las teorías en su contexto y la dificultad de la traducción. Logramos discutir el problema de inconmensurabilidad. Esta etapa se extendió más de lo previsto.

Módulo 3 se realizó como estaba previsto	
Módulo 4 se realizó como estaba previsto	
Módulo 5 se realizó como estaba previsto	
Módulo 6	Se cambió la lectura de los textos, yo presenté un caso de análisis y él, otro.
Módulo 7, no se realiza con la estrategia de una “mesa redonda”	Cada uno de nosotros realiza un trabajo personal, añadiendo las conclusiones del artículo de Cassini y Levinas (2005), se analizan los tres trabajos.
	Se utilizó con un objetivo cualitativo el interferómetro de Michelson del laboratorio. Esta instancia fue fundamental para los dos, se tuvo que buscar referencias al respecto, se utilizó fundamentalmente el texto de Hecht: <i>Óptica</i> . Se contó con la colaboración de los colegas: Verónica Benítez, Graciela Scavone y Marcelo Bachetta.
El trabajo monográfico, segundo parcial.	Se cambiaron los tiempos estipulados, dicho trabajo fue realizado durante setiembre y octubre, se utilizó la web, las obras de Kuhn citadas. El estudiante presentó el caso de estudio a los profesores, que lo evaluamos, y se le realizaron preguntas. No se pudo hacer la presentación pública prevista en la propuesta.

Conclusiones

La propuesta que se adjunta con la finalidad de ser discutida en vistas a su aplicación durante el año 2012, tiene algunas modificaciones respecto a la anterior.

Como hemos presentado en este breve informe sobre el curso correspondiente al año lectivo 2011, creemos que la propuesta sigue siendo válida. Se puede implementar un segundo curso sobre la base de ella pues es lo suficientemente flexible como para adaptarla a cualquier grupo-clase.

Es posible la implementación de esta propuesta en el caso del Profesorado Semipresencial

En el caso del PS, también se puede implementar. Los foros son una instancia que deben utilizarse en las discusiones propuestas. En los módulos se han ajustado algunas preguntas que luego de esta experiencia se ven más adecuadas.

En la primera instancia presencial se puede realizar la experiencia de calcular la longitud de onda de luz Láser utilizando el interferómetro de Michelson. En la segunda, se puede realizar el primer parcial, como es una práctica en la especialidad. Finalmente, en la última instancia presencial, es posible realizar la defensa del segundo parcial, comentarlo y discutir su contenido y sus resultados.

Anexo III

Diseño de una planilla para realizar las entrevistas

1. Presentación personal: es de mi interés la profundización en la enseñanza de algunos de los denominados experimentos cruciales en la física contemporánea. Las opiniones que brinde son absolutamente reservadas.
2. Datos personales del entrevistado:
 - a. Nombre (se codificará)
 - b. Formación académica (puede ser muy variada, profesional universitario, estudios incompletos, profesor/a)
 - c. Actividad profesional (puede estar referida a la docencia o no)
3. Preguntas referidas al proceso de enseñanza desde el punto de vista del profesor/a
 - a. En los cursos de Física y atendiendo al principio de libertad de cátedra: ¿sigue el programa correspondiente al Plan de estudios?
 - b. ¿Es posible que pueda ceder una copia del plan anual que ha elaborado?
 - c. De acuerdo a sus apreciaciones ¿en qué texto(s) apoya el curso? Puede ser que se siga un texto o varios o que no se lo utilice.
 - d. ¿Qué textos cree usted que estudian los estudiantes?
4. Preguntas referidas al contexto de producción del conocimiento.
 - a. ¿Trata en sus clases el experimento de M-M? ¿Cuál es para usted la relevancia del experimento de M-M? ¿Lo trata en las clases? (Si hay discrepancias entre el programa y su posición).
5. Se ofrece una oportunidad para realizar comentarios o realizar agregados que considere importantes para esta entrevista.
6. Despedida, se deja abierta la posibilidad de realizar otra entrevista.

Nota: se tramitó la solicitud a la DFPD para realizar la investigación y se considera pertinente informar a los docentes entrevistados de tal autorización, pues les confiere un marco en el cual pueden obrar.

Tiempos	E/P	Verbalización	Notas

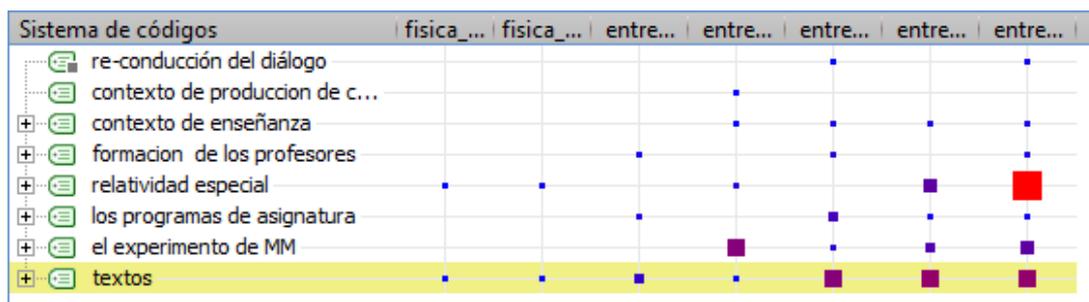
Anexo IV

Tabla de categorías

En las imágenes que siguen se muestran las categorías que se utilizaron para el análisis. En la primera columna aparece el término “códigos”, que es el nombre que en el MAXQDA10 se le asigna a cada categoría. Las otras columnas están encabezadas por los documentos utilizados: dos programas y cinco entrevistas con pauta.

Identifiqué las categorías en la transcripción del discurso (Anexo V), la parte del discurso seleccionado para cada categoría la denominé “segmento codificado”, nombre que también le otorga el software.

El sistema de categorías se encuentra diagramado en forma de árbol, hay categorías más generales que contienen otras. Las que corresponden al primer nivel se expresan en la figura que sigue. Los distintos cuadrados representan la cantidad de segmentos codificados de cada categoría que identifiqué en los programas y en las transcripciones de las entrevistas.



La categoría “textos”, que aparece en la figura anterior con fondo de color, es la que tiene mayor cantidad de segmentos seleccionados, por eso aparecen mayor número de cuadrados. Es una observación coherente con el contexto de enseñanza, los textos los utilizan tanto los estudiantes para su formación, como los docentes para preparar las clases.

También se puede observar que la categoría “relatividad especial” en una de las entrevistas es la que tiene mayor número de segmentos seleccionados.

La figura que sigue muestra el primer nivel de la categoría “el experimento de MM” y los sub-niveles correspondientes, en función de los segmentos codificados en cada documento (programas y transcripciones de entrevistas). A continuación incluyo algunas aclaraciones.



Para la categoría “el experimento de MM” existen cuatro sub-categorías (sub-códigos): como experimento negativo; como experimento crucial; si utiliza el experimento MM; no utilizan el experimento MM y justifica. En el segundo nivel, en la sub-categoría “si utiliza el experimento de MM” se origina un tercer nivel, “desde el electromagnetismo” y de este un cuarto nivel “racionalmente”.

A continuación menciono algunos segmentos pertenecientes a las sub-categorías correspondientes al tercer nivel. El número que figura entre paréntesis recto es el número de segmentos que identifiqué en los programas y en las transcripciones.

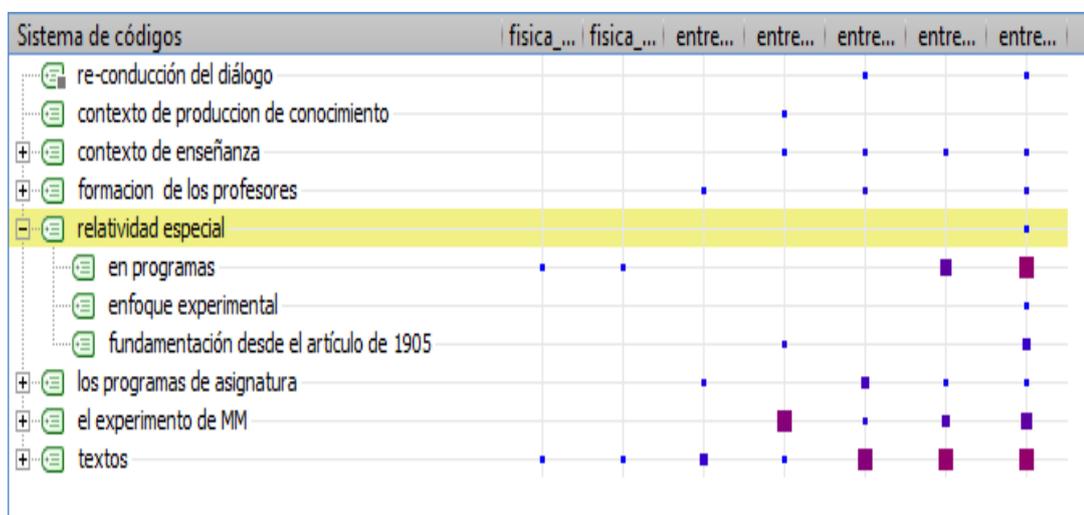
- *Razones estratégicas para la enseñanza* [4]: los entrevistados dicen que lo utilizan aduciendo a razones del orden de la enseñanza.
- *Einstein no lo menciona en 1905* [2]: no lo enseñan o minimizan su importancia alegando que Einstein no lo menciona en 1905.
- *Lo trata ubicándolo históricamente* [5]: lo enseñan por su importancia histórica, en este caso distingo dos categorías si lo utilizan desde el electromagnetismo [4] solamente y no con la relatividad especial o si dan una fundamentación racionalista [1], el experimento se interpreta desde la teoría.
- *Lo utiliza desde su re-interpretación, luego de 1905* [2]: distingo dos sub-categorías, si aducen que el experimento de MM es funcional a la relatividad o bien que demuestra la no existencia del éter.

La imagen que sigue muestra la categoría “relatividad especial” [1], con sus subniveles:

- Si se la identifica en relación con los programas de asignatura “en programas” [23]



- Si se la enseña con un enfoque experimental [2] (en este caso se cruza con la utilización del experimento de M-M)
- Si se la enseña realizando una fundamentación desde el artículo de 1905 [9].



La imagen que sigue muestra un análisis similar a los anteriores para la categoría “textos” y las sub-categorías. Estas se corresponden con los nombres de los autores, salvo una que la denomino “Berkeley”, porque es una serie de tomos editados por la Universidad de Berkeley. Además manejo otra sub-categoría, si el profesor “toma en cuenta al estudiante” [7] al seleccionar el texto.

Anexo V

Selección de segmentos de las transcripciones

Segmenté las entrevistas en función de las categorías que fui desarrollando (Anexo IV). En las tablas que siguen presento los discursos seleccionados (segmentos); en cada celda se encuentra la referencia (parte superior) y el segmento debajo.

Tabla 1. Segmentos de las transcripciones que corresponden con la categoría: “el experimento de MM” y sus sub-categorías

<p>Documento: Entrevistas \entrevista Julio parte 2 E5</p> <p>Posición: 6 - 6</p> <p>Código: el experimento de M-M \Si utiliza el experimento de MM \lo trata ubicándolo históricamente</p> <p>en realidad, históricamente no fue muy relevante no hago mucho énfasis, trato de decirles a ellos que el experimento de MM no {} de que la relatividad es una consecuencia directa del experimento de MM, que fue decisivo para la teoría de la relatividad de Einstein.</p>
<p>Documento: Entrevistas \entrevista Julio parte 2 E5</p> <p>Posición: 6 - 6</p> <p>Código: el experimento de M-M \Si utiliza el experimento de MM \lo trata ubicándolo históricamente</p> <p>simplemente está ahí, sobre todo porque es un experimento negativo.</p>
<p>Documento: Entrevistas \entrevista Julio parte 2 E5</p> <p>Posición: 6 - 6</p> <p>Código: el experimento de MM \Si utiliza el experimento de MM \lo trata ubicándolo históricamente</p> <p>cuando uno ve que dentro de los errores experimentales no pudieron determinar una velocidad respecto al éter, de repente uno piensa: es muy baja, hay otros fenómenos como arrastre del éter, es explicable dentro de las teorías del éter también que solo ese experimento dé nulo, por eso hay que recurrir a otros experimentos, a otras cosas, a otros argumentos, para ver que efectivamente no hay éter, así que el experimento por sí solo no es determinante.</p>
<p>Documento: Entrevistas \entrevista Julio parte 2 E5</p> <p>Posición: 6 - 6</p> <p>Código: el experimento de MM \como experimento crucial \no es un experimento crucial</p> <p>por eso hay que recurrir a otros experimentos, a otras cosas, a otros argumentos, para ver que efectivamente no hay éter, así que el experimento por sí solo no es determinante.</p>

Documento: Entrevistas \entrevista Julio parte 2 E5

Posición: 6 - 6

Código: el experimento de MM \Si utiliza el experimento de MM \lo trata ubicándolo históricamente \desde el electromagnetismo

es mucho más interesante ver la situación desde el lado del electromagnetismo como fue históricamente así, por eso, en el práctico yo les incluí hay una parte del experimento de MM y otra que viene del electromagnetismo, que muestra la asimetría.

Documento: Entrevistas \entrevista Julio parte 2 E5

Posición: 9 - 9

Código: el experimento de MM \Si utiliza el experimento de MM \lo trata ubicándolo históricamente \desde el electromagnetismo

hay una parte de situaciones que vienen del electromagnetismo, que muestran la incompatibilidad que hay entre la teoría de Maxwell y la que viene de la relatividad de Galileo, está mucho más interesante, digamos, son experimentos, algunos mentales y otros no, que muestran mucho más que el experimento de MM el problema...

Documento: Entrevistas \entrevista Julio parte 2 E5 ST

Posición: 11 - 11

Código: el experimento de MM \Si utiliza el experimento de MM \Einstein no lo menciona en 1905

es que de hecho Einstein en 1905 no lo mencionó.

Documento: Entrevistas \entrevista Julio parte 2 E5 ST

Posición: 15 - 15

Código: el experimento de MM \como experimento crucial \no es un experimento crucial

lo que prueba el experimento de MM es que la tierra (una de las interpretaciones) es que la tierra no se mueve respecto al éter, pero hay muchos escenarios posibles en los que podría valer lo que midieron MM y, sin embargo, haber un éter,

Documento: Entrevistas \entrevista Julio parte 2 E5 ST

Posición: 15 - 15

Código: el experimento de MM \como experimento crucial \no es un experimento crucial

no es lo fundamental, incluso ... uno, está bien, tiene el resultado de MM pero eso para construir una teoría no dice mucho, porque no dice nada, o sea, está bien, dice que tendría que haber una teoría donde no habría un éter, no habría un sistema absoluto, pero de ahí para construir las transformaciones de Lorentz, no es fácil para ellos simplemente con eso, este..., uno tiene de alguna manera que recurrir al electromagnetismo, incluso hay deducciones de las transformaciones de Lorentz sin usar la constancia de la velocidad de la luz (sin usar la relatividad) pero queda una

<p>constante, una velocidad ahí medida en la deducción que uno no sabe qué es.</p>
<p>Documento: Entrevistas \entrevista Julio parte 2 E5 ST</p> <p>Posición: 17 - 17</p> <p>Código: el experimento de MM \Si utiliza el experimento de MM \razones estratégicas para la enseñanza</p> <p>el experimento de MM creo que ya es importante, lo que yo he notado, cuando yo la cursé crea un impacto en el que está aprendiendo, que es ponerse en la situación, por más que sea un escenario, una cosa armada para eso, un teatro, ayuda un poco... no es posible determinar un movimiento respecto al éter, eso produce un cierto impacto.</p>
<p>Documento: Entrevistas \entrevista Luís E4 DV</p> <p>Posición: 12 - 12</p> <p>Código: el experimento de MM \Si utiliza el experimento de MM</p> <p>es más, en el semipresencial, en el primer encuentro presencial fue prácticamente la mitad del encuentro discutiendo el experimento.</p>
<p>Documento: Entrevistas \entrevista Luis E4 DV</p> <p>Posición: 14 - 14</p> <p>Código: el experimento de MM \Si utiliza el experimento de MM \lo utiliza desde la reinterpretación</p> <p>bueno, es un experimento dramático en lo que es la historia de la física, en los inicios de lo que hoy llamamos física moderna. Porque, por lo menos hasta lo poco que yo puedo entender, este es un experimento en el que según los autores, la única posibilidad, el único modelo que puede sobrevivir a ese experimento, que ajusta todas la observaciones es el de Einstein, lo relativista ¿no? Entonces uno no puede seguir sosteniendo un modelo como en base del éter o algún otro alternativo o combinaciones de ese modelo. Este, digamos que es como la excusa que uno utiliza para convencerlo que la relatividad es el remedio. Este, pero...sí, es fundamental trabajarlo, me parece.</p>
<p>Documento: Entrevistas \entrevista Luis E4 DV</p> <p>Posición: 18 - 18</p> <p>Código: el experimento de MM \como experimento crucial</p> <p>creo que en ese sentido el texto de Resnick lo marca como un hito importante, justamente le dedica prácticamente todo un capítulo, ¿no?, a la discusión del experimento, o más bien inicia con una discusión de los distintos modelos acerca de la permanencia posible del éter como hipótesis hasta desembocar en el MM, las interpretaciones que en definitiva eran insostenibles en los otros modelos, que no fueran los relativistas.</p>
<p>Documento: Entrevistas \entrevista Luis E4 DV</p> <p>Posición: 18 - 18</p> <p>Código: el experimento de MM \Si utiliza el experimento de MM \razones</p>

estratégicas para la enseñanza

hice un trabajo a partir del MM y el resto de las observaciones, cómo puede ser las estrellas binarias. La idea era que los tipos trabajaran, los estudiantes, siguiendo un modelo si podrían explicar distintas observaciones como podían ser justamente..

Documento: Entrevistas\entrevista José E3 GC

Posición: 32 - 32

Código: el experimento de MM \Si utiliza el experimento de MM \razones estratégicas para la enseñanza

el experimento de MM, sí lo enseño, lo enseño en los cursos de física uno, porque es una excelente oportunidad para ver ... el problema con las transformaciones de Galileo.

Documento: Entrevistas\entrevista José E3 GC

Posición: 35 - 35

Código: el experimento de MM

o sea es un experimento clásico, el problema de relatividad clásica.

Documento: Entrevistas\entrevista José E3 GC

Posición: 39 - 39

Código: el experimento de MM

más que nada lo más educativo que tiene a mi juicio el experimento de MM es el hecho de que los individuos generan en función de una teoría filosófica preexistente, que es la teoría de la existencia del éter, elaboran un experimento muy bien pensado donde el éter se tiene que poner en evidencia { } con un grado de error mínimo de lo que esperan medir, y es un experimento que da un resultado absolutamente no esperado. Y es una excelente oportunidad de ver cómo frente a un experimento no esperado ...las distintas posturas científicas tratan de mostrar en el fondo, es que cuando uno analiza la realidad, por lo cual estamos tratando de ser objetivos frente a la realidad, es que la realidad es que estamos impregnados de lo que nos han enseñado, ¿no? { } frente al experimento ves las transformaciones de Lorentz, la teoría de Einstein, el problema que hay del tipo clásico de Maxwell y la mecánica de Newton, una cantidad de problemas que me parece que uno los debe mencionar durante el curso pues son altamente educativos, muestran que en definitiva todo no es maravilloso como te lo muestran, lo que en realidad es un conjunto de ideas donde las ideologías de cada uno juegan, ideologías me refiero no política.

Documento: Entrevistas\entrevista José E3 GC

Posición: 43 - 43

Código: el experimento de MM \Si utiliza el experimento de MM \lo utiliza desde la reinterpretación

yo lo uso para que los tipos se den cuenta de que ¿cómo es que funciona el conocimiento? ¿cómo es que funciona la aplicación del conocimiento? Me parece que en ese sentido es un experimento que hay que mencionarlo {.} lo menciono de manera bastante tangencial en el de física uno, por ejemplo, en una carrera de barcos

después saco a discusión (¿conclusión ?) la idea del experimento de MM qué es lo que buscaban encontrar y qué es lo que realmente encontraron, el hecho de que en definitiva el postulado de la teoría de la relatividad son postulados y que esos postulados hay que aceptarlos y que después esos postulados te obligan a mirar la realidad, yo creo que ahí está lo más valioso ¿no? En el fondo es un experimento negativo, en el fondo los experimentos negativos es como en el fútbol un partido perdido... bien ¿qué más?

Documento: Entrevistas\entrevista José E3 GC

Posición: 43 - 43

Código: el experimento de MM\como experimento negativo

la idea del experimento de MM, qué es lo que buscaban encontrar y qué es lo que realmente encontraron, el hecho de que en definitiva el postulado de la teoría de la relatividad son postulados y que esos postulados hay que aceptarlos y que después esos postulados te obligan a mirar la realidad, yo creo que ahí está lo más valioso ¿no? En el fondo es un experimento negativo, en el fondo los experimentos negativos es como en el fútbol un partido perdido...

Documento: Entrevistas\entrevista Mario E2 GS

Posición: 32 - 32

Código: el experimento de MM\no utilizan el experimento MM y justifica

El MM son las partes de relatividad que doy un enfoque más bien teórico. Lo nombro, pero no lo, no lo trabajo... {} Sí, yo prefiero usar un enfoque teórico y para ver esto de la velocidad de la luz es constante, lo estudiamos a partir que la teoría electromagnética dice.... {} la teoría electromagnética de Maxwell que dice que la velocidad de la luz es independiente de la fuente, ¿no?, y ahí trabajamos.

Documento: Entrevistas\entrevista Mario E2 GS

Posición: 32 - 32

Código: el experimento de MM\Si utiliza el experimento de MM\lo trata ubicándolo históricamente\desde el electromagnetismo

lo estudiamos a partir que la teoría electromagnética dice.... {} la teoría electromagnética de Maxwell que dice que la velocidad de la luz es independiente de la fuente.

Documento: Entrevistas\entrevista Mario E2 GS

Posición: 34 - 34

Código: el experimento de MM\Si utiliza el experimento de MM\Einstein no lo menciona en 1905

sí, como postulado, a mí me había, me había gustado mucho.. el hecho de que.., cuando a Einstein le había, le preguntaron si cuando formuló la teoría de la relatividad conocía el MM, dijo que no, que no conocía que toda solución fue teórica.

Documento: Entrevistas\entrevista Mario E2

Posición: 34 - 34

Código: el experimento de MM\Si utiliza el experimento de MM\lo trata ubicándolo históricamente

...entonces me gusta arrancar, decir bueno ta... La teoría electromagnética dice algo, está en contradicción con la mecánica: ¿cómo se arregla esa situación? Entonces bueno, vemos distintos caminos... {} y cómo se trabaja en física, no, uno hace una hipótesis y arranca, sigue adelante y ve qué es lo que sucede... {} Me gusta darle este enfoque teórico, que era el que yo me dedicaba, a la parte de física teórica

Documento: Entrevistas\entrevista Mario E2**Posición: 34 - 34****Código: el experimento de MM\Si utiliza el experimento de MM\razones estratégicas para la enseñanza**

recuerdo también que, que algo muy interesante que está en el libro de French es que uno puede predecir la existencia del campo magnético a partir de la Ley de Coulomb y de la teoría de la relatividad, o sea pudo nunca haber visto un imán sin embargo darse cuenta, ... a través de cálculos, darse cuenta de que debe existir un nuevo campo, el campo magnético... {} eso es interesante y a ellos les gusta.

Documento: Entrevistas\entrevista Mario E2**Posición: 36 - 36****Código: el experimento de MM\Si utiliza el experimento de MM\lo trata ubicándolo históricamente\desde el electromagnetismo**

...en la parte de magnetismo hago el enfoque clásico o se habla de los imanes, de las fuerzas entre las corrientes.

Documento: Entrevistas\entrevista Mario E2**Posición: 40 - 40****Código: el experimento de MM\Si utiliza el experimento de MM\lo trata ubicándolo históricamente\desde el electromagnetismo\racionalmente**

y ahí construir, que es algo muy bueno también. Pero como el otro enfoque {se refiere al de French} generalmente no se dé en un curso...

Documento: Entrevistas\entrevista Mario E2**Posición: 56 - 56****Código: el experimento de MM\como experimento crucial\no es un experimento crucial**

El MM lo nombro, lo describo, no lo hacemos no hacemos experimento... {} pero no en la secuencia lógica de la construcción de la teoría sino... como un comentario, bueno cuando Einstein planteo la teoría de la relatividad... (que se había descubierto) que se había hecho ese experimento, en Estados Unidos...

Tabla 2. Segmentos correspondientes a la categoría: “relatividad especial” y sus sub-categorías.

<p>Documento: Programas de cursos \ física general_exp</p> <p>Posición: 449 - 460</p> <p>Código: relatividad especial \ en programas</p> <p>UNIDAD 7 RELATIVIDAD ESPECIAL</p>
<p>Documento: Programas de cursos\física_moderna</p> <p>Posición: 146 - 368</p> <p>Código: relatividad especial</p> <p>no figura en él la relatividad, tema de capital importancia para la física y para la filosofía. Se lo trata en cursos anteriores. Si no hubiera sido estudiado, es imprescindible hacerlo antes de comenzar el programa.</p>
<p>Documento: Entrevistas \ entrevista Julio parte 2 E5</p> <p>Posición: 13 - 13</p> <p>Código: relatividad especial \fundamentación desde el artículo de 1905</p> <p>la base empírica de la relatividad, si tiene alguna, fue la comprobación de la teoría de Maxwell.</p>
<p>Documento: Entrevistas \ entrevista Julio parte 2 E5</p> <p>Posición: 13 - 13</p> <p>Código: relatividad especial</p> <p>la teoría de Maxwell estaba bien asentada, digamos, y no es compatible con la relatividad de Galileo, así que eso sería la base empírica, o sea el resultado nulo...</p>
<p>Documento: Entrevistas \ entrevista Julio parte 2 E5</p> <p>Posición: 15 - 15</p> <p>Código: relatividad especial</p> <p>si la relatividad fuera las transformaciones de Lorentz, las transformaciones habían sido obtenidas mucho tiempo antes, un tipo llamado [inaudible]... el tema es que la relatividad no es simplemente las transformaciones de Lorentz</p>
<p>Documento: Entrevistas \ entrevista Julio parte 2 E5</p> <p>Posición: 17 - 17</p> <p>Código: relatividad especial</p> <p>son una parte importante, lo importante son los postulados de la teoría, pero las transformaciones no son los postulados.</p>
<p>Documento: Entrevistas\entrevista José E3</p> <p>Posición: 37 - 37</p>

<p>Código: relatividad especial \ en programas</p> <p>lo voy a dar, específicamente está mencionado en el programa nuevo haciendo la salvedad.</p>
<p>Documento: Entrevistas\entrevista Mario E2</p> <p>Posición: 16 - 16</p> <p>Código: relatividad especial</p> <p>la parte de relatividad también la di en el curso de electromagnetismo.</p>
<p>Documento: Entrevistas\entrevista Mario E2</p> <p>Posición: 32 - 32</p> <p>Código: relatividad especial</p> <p>yo prefiero usar un enfoque teórico y para ver esto de la velocidad de la luz es constante, lo estudiamos a partir que la teoría electromagnética dice.... {} la teoría electromagnética de Maxwell que dice que la velocidad de la luz es independiente de la fuente, ¿no?, y ahí trabajamos.</p>
<p>Documento: Entrevistas\entrevista Mario E2</p> <p>Posición: 34 - 34</p> <p>Código: relatividad especial\fundamentación desde el artículo de 1905</p> <p>me había gustado mucho el hecho de que... cuando a Einstein le había, le preguntaron si cuando formuló la teoría de la relatividad conocía el MM, dijo que no, que no conocía que toda solución fue teórica.</p>
<p>Documento: Entrevistas\entrevista Mario E2</p> <p>Posición: 34 - 34</p> <p>Código: relatividad especial\fundamentación desde el artículo de 1905</p> <p>la teoría electromagnética dice algo, está en contradicción con la mecánica: ¿cómo se arregla esa situación? Entonces bueno, vemos distintos caminos... {} y cómo se trabaja en física ¿no? Uno hace una hipótesis y arranca, sigue adelante y ve qué es lo que sucede.</p>
<p>Documento: Entrevistas\entrevista Mario E2</p> <p>Posición: 34 - 34</p> <p>Código: relatividad especial\fundamentación desde el artículo de 1905</p> <p>algo muy interesante que está en el libro de French es que uno puede predecir la existencia del campo magnético a partir de la Ley de Coulomb y de la teoría de la relatividad, o sea pudo nunca haber visto un imán sin embargo darse cuenta, ... a través de cálculos, darse cuenta de que debe existir un nuevo campo, el campo magnético... {} eso es interesante y a ellos les gusta algo muy interesante que está en el libro de French.</p>
<p>Documento: Entrevistas\entrevista Mario E2</p>

Posición: 34 - 34**Código: relatividad especial**

es que uno puede predecir la existencia del campo magnético a partir de la Ley de Coulomb y de la teoría de la relatividad, o sea pudo nunca haber visto un imán sin embargo darse cuenta, ... a través de cálculos, darse cuenta de que debe existir un nuevo campo, el campo magnético... {} Eso es interesante y a ellos les gusta. Usando MM o no, haciendo un desarrollo histórico donde, de usando MM, o no haciendo un desarrollo histórico...

Documento: Entrevistas\entrevista Mario E2**Posición: 48 - 48****Código: relatividad especial \ enfoque experimental**

en el capítulo 1 del French se describe un experimento en donde se demuestra que hay una velocidad límite, para las partículas, en la velocidad de la luz que fue hecho muy posterior al descubrimiento de la relatividad. En el capítulo 1 del French se describe un experimento.

Documento: Entrevistas \ entrevista Mario E2**Posición: 48 - 48****Código: relatividad especial**

o en donde se demuestra que hay una velocidad límite, para las partículas, en la velocidad de la luz que fue hecho muy posterior al descubrimiento de la relatividad. En el mismo French, después se trata los verdaderos postulados en la introducción, en el primer capítulo llega bastante lejos.

Documento: Entrevistas\entrevista Mario E2**Posición: 52 - 52****Código: relatividad especial**

incluso con muy pocas herramientas llega a plantear cosas muy, muy interesantes... porque habla de la variación de la masa con la velocidad, sin introducir las transformaciones de Lorentz, ni ... {} llega a la operación $E = mc^2$ igual $M C^2$ cuadrado, todo eso en el primer capítulo, como un pantallazo general MM lo nombro, lo describo, no lo hacemos, no hacemos experimento. En el mismo French, después se trata los verdaderos postulados dos.

Documento: Entrevistas\entrevista Mario E2**Posición: 52 - 52****Código: relatividad especial \ enfoque experimental**

en la introducción, en el primer capítulo llega bastante lejos, incluso con muy pocas herramientas llega a plantear cosas muy, muy interesantes... porque habla de la variación de la masa con la velocidad, sin introducir las transformaciones de Lorentz, ni {} llega a la operación $E = mc^2$ igual $M C^2$ cuadrado, todo eso en el primer capítulo, como un pantallazo general.... {} pero no en la secuencia lógica de la construcción de la teoría sino como un comentario.

Documento: Entrevistas\entrevista Mario E2

Posición: 56 - 56

Código: relatividad especial

teoría sino... como un comentario, bueno cuando Einstein planteó la teoría de la relatividad... (que se había descubierto) que se había hecho ese experimento, en Estados Unidos. MM lo nombro, lo describo, no lo hacemos, no hacemos experimento.

Documento: Entrevistas\entrevista Mario E2

Posición: 56 - 56

Código: relatividad especial\fundamentación desde el artículo de 1905

....{} pero no en la secuencia lógica de la construcción de la teoría sino como un comentario, bueno cuando Einstein planteó la teoría de la relatividad... (que se había descubierto) que se había hecho ese experimento, en Estados Unidos.

Anexo VI

Herramienta para realizar un mapa conceptual

<http://cmap.ihmc.us/>

Consultado el 20/12/2011

