

UNIVERSIDAD DE SAN ANDRÉS  
ESCUELA DE EDUCACIÓN  
DOCTORADO EN EDUCACIÓN

Tesis Doctoral

---

Las clases comprensivas de cuántica en el nivel escolar medio

---

Ana Isabel Iglesias

Directora: Dra. Edith Litwin

Codirector: Dr. José Villella

Buenos Aires, Septiembre 2011

## **Resumen**

El interés principal de este estudio es caracterizar las clases comprensivas de Cuántica en el Colegio Nacional de Buenos Aires (CNBA). Nos ha guiado el afán de conocer y describir circunstancias y escenarios escolares, criterios y actividades pedagógicas que hacen que para los profesores, los estudiantes y los didactas, las clases de Física Cuántica resulten comprensivas. Hemos realizado el estudio de un caso didáctico de tipo etnográfico, colaborativo e interpretativo que, micro y macroanalíticamente, enfocó la intervención didáctica de dos profesores, el conocimiento cuántico enseñado y la construcción social del conocimiento en las clases. Las conclusiones permiten afirmar que la comprensión de la Cuántica en las clases de Física del CNBA es un proceso amplio de integración que involucra el desarrollo de la conciencia (intelecto y afectividad) y del aprendizaje social o enculturación institucional.

## **Presentación**

Este informe está formado por dos libros, el libro I contiene “La investigación” y el libro II el “Anexo”. “La investigación” incluye cinco capítulos cuyos contenidos listados en el índice de la página 5 se refieren a: Capítulo I, una introducción general al estudio, sus limitaciones y un posicionamiento personal sobre las dificultades para el desarrollo de una enseñanza comprensiva de la Cuántica en la escuela media actual; Capítulo II es una revisión focalizada de los estudios sobre enseñanza de la Física Moderna y Contemporánea; Capítulo III desarrolla el encuadre teórico; Capítulo IV es el encuadre metodológico, la descripción y el análisis de datos; Capítulo V es la interpretación de los datos y del proceso. El “Anexo” contiene el material empírico en bruto (clases, entrevistas, encuesta), una descripción de documentos contextuales y curriculares, una descripción selectiva y ampliada de fuentes bibliográficas relacionadas con la enseñanza de la Física Moderna y Contemporánea y la copia del trabajo microanalítico realizado con la muestra.

## **Agradecimientos**

Este trabajo ha sido posible gracias al apoyo de muchas personas. Todas ellas están en mi memoria y cada una de ellas sabe de mi cariño, agradecimiento y recuerdo. Sin embargo hay otras a las que quiero agradecer expresamente por su ayuda.

A Edith Litwin y José Vilella por su estimulante guía intelectual, su apoyo metodológico y afectivo permanente.

A Marco A. Moreira, Patricia Sadovsky y Alicia Camilloni por la evaluación minuciosa y los precisos consejos durante el desarrollo del proyecto.

A Cuca y Cristina porque son referencias importantes para mi actividad docente.

A Silvina, Patricia y Graciela por abrirme las puertas a las que llamé.

Al profesor Hardoy y al profesor Casas por permitirme observar sus clases, por dejarme compartir sus reflexiones sobre ellas, por reflexionar críticamente sobre los análisis realizados y por abrirme las puertas del Colegio Nacional de Buenos Aires cada vez que lo necesité.

A los ayudantes de laboratorio y a los alumnos del Colegio Nacional Buenos Aires por su paciencia, sus preguntas, sus respuestas y su amplia ayuda para poder realizar el trabajo de campo.

A mi familia por su cariño y comprensión incondicional, sin ellos nada de esto hubiese sido posible.

A Damián y Claudia por las transcripciones, los dibujos y la amistad.

A mis colegas y alumnos porque son la fuente y los destinatarios de este esfuerzo.



*Para Ángel*

Las clases comprensivas de cuántica en el nivel escolar medio  
Libro I: La investigación  
Ana Isabel Iglesias

## Índice

<b>CAPITULO I</b>	<b>8</b>
Introducción	9
Objetivos de investigación	11
Una aclaración necesaria	13
Preguntas iniciales	14
Enfoques teórico y metodológico	15
La Teoría Cuántica en la escuela	16
Limitaciones del estudio	18
Omisiones en el desarrollo de una enseñanza comprensiva de la FC, una visión personal	18
El significado de realizar este estudio	26
Sobre los resultados	26
Las partes del trabajo	27
<b>CAPITULO II</b>	<b>28</b>
Introducción	29
Definición de términos	32
Distribución de las fuentes consultadas	33
Categorías utilizadas en la organización de las fuentes	34
Trabajos sobre enseñanza, profesores, conocimiento y desarrollo profesional	36
Síntesis de las fuentes consultadas	53
Algunas observaciones sobre la revisión bibliográfica	57
<b>CAPITULO III</b>	<b>61</b>
<b>Introducción</b>	<b>62</b>
<b>La comprensión humana</b>	<b>65</b>
La comprensión desde una perspectiva filosófica	65
La comprensión desde una perspectiva psicológica y pedagógica	74
La comprensión desde una perspectiva didáctica	76
<b>Síntesis teórica: algunos constructos y proposiciones que fundamentan el estudio</b>	<b>87</b>
Desde una perspectiva filosófica y psicosocial	87
Desde una teoría de la acción	89
Desde la intervención didáctica	89
<b>Objetivos de investigación</b>	<b>92</b>
<b>Síntesis gráfica</b>	<b>92</b>

<b>CAPITULO IV</b>	95
<b>Introducción</b>	96
<b>Parte I: Precisiones metodológicas</b>	96
Tipo de estudio	96
Selección del caso	97
Síntesis de las tareas realizadas	98
Estrategias e instrumentos de registro	99
Objetivos de investigación	100
Hipótesis generales de trabajo	100
Sobre la selección y organización de los registros	101
Unidad de análisis	101
Población de estudio	103
Construcción de la muestra intencional	105
<b>Parte II. Descripción</b>	105
Descripción de las clases de física en 6°	106
Descripción de las entrevistas realizadas	108
<b>Parte III. Análisis</b>	109
Microanálisis de la muestra intencional	110
Construcción de dimensiones, fases e indicadores	110
Glosario	121
Convenciones	123
Análisis de dos casos	123
Ingresando a las clases del profesor Casas	124
Dos días en las clases del Profesor Casas	124
Microanálisis de la muestra I	126
Transcripción de ejemplos	128
Ingresando a las clases del profesor Hardoy	144
Dos días en las clases del Profesor Hardoy	146
Microanálisis de la muestra II	147
Macroanálisis de otros elementos	166
Inducción analítica	169
Análisis del cuestionario de opinión a los estudiantes	184
<b>Parte IV. Síntesis</b>	185
Perfil del Profesor Casas	185
Perfil del Profesor Hardoy	189
A modo de cierre del análisis	194
<b>CAPITULO V</b>	197
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	206

## Índice de cuadros

<a href="#">Cuadro 1</a> : Síntesis de los principales aportes de los artículos analizados	53
<a href="#">Cuadro 2</a> : Relaciones entre elementos y sectores didácticos	58
<a href="#">Cuadro 3</a> : Relaciones y elementos didácticos en un estudio de las clases de Cuántica	60
<a href="#">Cuadro 4</a> : Interrogantes a priori y posteriori	64
<a href="#">Cuadro 5</a> : Las dimensiones de las clases comprensivas de FMyC	94
<a href="#">Cuadro 6</a> : Tópicos y temas de FM, número de clase observada, unidad del programa	102
<a href="#">Cuadro 7</a> : Selección del tema más comprendido	105
<a href="#">Cuadro 8</a> : Entrevistas por fecha, tipo y entrevistados	109
<a href="#">Cuadro 9</a> : Organización de dimensiones, fases e indicadores	111
<a href="#">Cuadro 10</a> : Indicador, finalidad y ejemplo	119
<a href="#">Cuadro 11</a> : Caso Casas. Indicadores y ubicación de ejemplos	126
<a href="#">Cuadro 12</a> : Caso Hardoy. Indicadores y ubicación de ejemplos	147
<a href="#">Cuadro 13</a> : Análisis combinado de otras entrevistas	167
<a href="#">Cuadro 14</a> : Motivos y aspectos interesantes que acompañan la selección de temas	184

  
 Universidad de  
**San Andrés**



Las clases comprensivas de cuántica en el nivel escolar medio  
Libro I: La investigación  
Ana Isabel Iglesias



## Introducción

La comprensión de la Física Cuántica<sup>1</sup> en la escuela media es un problema que me preocupa desde hace bastante tiempo. Pocos años después de haberme recibido de profesora de Física y Matemática sentía carencias para entender y solucionar innumerables problemas que se me presentaban en la práctica docente entonces decidí estudiar Psicología Social y me incorporé activamente a la Asociación de Profesores de Física de la Argentina. Estas actividades y el trabajo de “formadora de formadores” en el marco de un proyecto de actualización de profesores de ciencias, desarrollado en cinco distritos del conurbano bonaerense, cambiaron profundamente mi manera de hacer y de pensar la enseñanza de las Ciencias y de la profesión docente. Posteriormente, en el marco de los estudios de Maestría en Didáctica de la UBA y del trabajo como docente e investigadora en el Gabinete de Desarrollo de Metodologías de Enseñanza del Departamento de Física de la Facultad de Ingeniería de la UBA, inicié con algunas colegas las primeras exploraciones y publicaciones didácticas relacionadas con el tema. En esa época el foco de las investigaciones estuvo orientado hacia el estudiante (las representaciones, los modos de lograr su motivación e iniciar su aprendizaje); hacia los contenidos y su estructuración en textos didácticos y hacia la creación y evaluación de nuevas estrategias de enseñanza como la producción de cuentos fantásticos para iniciar la comprensión cuántica (Iglesias et al., 1998; Iglesias, 1999 y 2009). Considero que la variedad de actividades y de enfoques en la formación me permitieron conocer realidades diferentes a las que podía conocer como profesora en las escuelas secundarias donde trabajaba, pero sobre todo, favorecieron el desarrollo de una visión más amplia sobre la vida en las aulas de Ciencias y también el despliegue de una postura comprometida y crítica con el tipo habitual de vínculos cognitivos, psicosociales e institucionales que atraviesan y determinan la cotidianeidad profesional del docente de Ciencias (Iglesias et al., 2005, 2006, 2007, 2008).

---

<sup>1</sup> Utilizamos las siguientes abreviaturas: FC (Física Cuántica), FMyC (Física Moderna y Contemporánea), TC (Teoría Cuántica), EM (escuela media), CNBA (Colegio Nacional de Buenos Aires). La TC y la TR (Teoría de la Relatividad) son teorías de la FMyC.

En este trabajo estudiamos el problema de la comprensión de la FC escolar focalizando la acción del profesor en aquellas situaciones de enseñanza consideradas por los estudiantes y por los profesores como las más comprensivas dentro de un conjunto de clases sobre FMyC desarrolladas naturalmente<sup>2</sup> por buenos profesores en dos cursos de sexto año con orientación en Ciencias Exactas del Colegio Nacional de Buenos Aires, en el año 2005.

En este capítulo hacemos una presentación general del estudio por lo cual planteamos, aunque sin desarrollar, las principales ideas que guiaron su diseño y desarrollo. Exponemos los objetivos y preguntas de investigación, el enfoque teórico y metodológico. Mencionamos qué es la FC, las limitaciones y resultados de nuestro trabajo. Finalmente enunciamos algunas omisiones y dificultades que, desde una visión personal, podrían limitar el desarrollo de una enseñanza comprensiva de la FMyC en las escuelas secundarias de nuestro país y, consecuentemente, exponemos el significado que otorgamos a la realización de estudios dentro de esta temática.

En una primera aproximación necesitamos compartir con el lector qué entendemos por comprensión de un conocimiento científico en la escuela secundaria. La comprensión es un proceso subjetivo y objetivo de aprehensión del significado que difiere del proceso de aprender (Luque Lozano et al., 1997: 324).

Estudiar la construcción del significado del conocimiento científico en las clases escolares requiere hacer una investigación didáctica. Camilloni (2008: 51) señala que la didáctica *“es un conjunto de teorías de la enseñanza con enfoques diversos... que tiene por objeto de conocimiento a la enseñanza, que es una acción social, una clase específica de acción de intervención social con un propósito, la orientación hacia la producción de aprendizajes significativos”*.

Nuestro trabajo tiene por objeto estudiar la enseñanza de contenidos significativos para los propios participantes de las clases de FMyC<sup>3</sup>. Así partiendo del análisis de situaciones habituales en las clases de Física, de los comentarios de los estudiantes, de las reflexiones que sobre dichas clases realizan los docentes, y de los documentos y proyectos desplegados en el Departamento de

---

<sup>2</sup> Una situación natural de enseñanza es la que se desarrolla en las clases habituales. Es necesario mencionar que la mayoría de los estudios sobre enseñanza de FC son experimentos didácticos donde los profesores son previamente entrenados por los investigadores para desplegar un diseño curricular especialmente preparado.

<sup>3</sup> Cuando decimos FMyC nos referimos a los contenidos introductorios de la TC históricamente desarrollados entre 1890 y 1920 aproximadamente.

Física, tratamos de reconstruir las características comprensivas de las intervenciones didácticas de dos profesores de Física del CNBA. Es decir que nuestro trabajo primero se ha orientado a describir y analizar las características principales que presentan las clases de FMyC consideradas comprensivas por los propios participantes y luego a interpretar y estructurar conceptualmente sus elementos principales.

El material recogido durante la fase empírica del trabajo de campo incluye el registro de clases, de situaciones de enseñanza fuera del aula, de entrevistas y cuestionarios. También, la recogida de documentos curriculares e institucionales como programas, guías de problemas y de laboratorio, textos didácticos, etc.

Las múltiples relaciones involucradas en el término *comprensión de la cuántica* en la escuela media permiten conjeturar que su estudio implica cuestiones situadas dentro y fuera del aula (Toulmin; 1977; Habermas, 1992).

Un relevamiento del estado actual de los estudios en didáctica de la FMyC para el nivel secundario presentado en el Capítulo II permite reconocer que si bien hace más de dos décadas comenzaron a publicarse estudios sobre enseñanza de la FMyC para el nivel secundario y universitario básico, aún resultan escasos y dispersos los enfoques teóricos y metodológicos con que son encarados. Por otro lado la gran distancia entre lo que sucede en las aulas y lo que aporta la investigación en didáctica de las ciencias reclama desarrollar alternativas colaborativas que amplíen la reflexión conjunta entre profesores y didactas para reconstruir prácticas de enseñanza de la FMyC y que éstas resulten comprensivas a los alumnos.

Presentamos a continuación los objetivos y algunos supuestos que guiaron nuestro trabajo.

### **Objetivos de investigación**

El objetivo general de este estudio es caracterizar didácticamente las clases de FMyC consideradas comprensivas por profesores y alumnos de un colegio secundario de la ciudad de Buenos Aires, en el año 2005, mediante la construcción de categorías teóricas.

Los objetivos específicos, de tipo descriptivo<sup>4</sup>, focalizan la intervención didáctica y se orientan a:

1. Describir el conocimiento enseñado considerando aspectos teórico – filosóficos, y técnico-experimentales (Toulmin, 1977, Habermas, 1987, 1992, 2010; Hodson, 1994; Guridi et al., 1999; Moreira, 2000; Petrucci, 2006; entre otros).

2. Analizar la intervención didáctica en términos de caracterizar cómo el profesor gestiona el contenido de enseñanza (organiza y estructura) mediante prácticas cognitivas (propósitos, actividades, recursos, evaluación, métodos) y prácticas metacognitivas (interpretación y anticipación de obstáculos)<sup>5</sup> (Rivière, 1996; Litwin, 1997; Hernández Hernández, 1997; Luque et al., 1997; Astolfi, 2001; entre otros).

3. Caracterizar la construcción social del conocimiento en las clases más comprensivas de FMyC considerando cómo interactúa el profesor con sus propios conocimientos, con los de los estudiantes, con su desarrollo profesional e institucional (tipo de preguntas, lenguajes, climas, resistencias) en el marco de la participación de los estudiantes. (Vygotsky, 1987, 1991; Wertsch, 1988; Porlán et al., 1998; Mortimer y Scott, 2002; Bolívar Botía, 2004, entre otros).

Explorar y caracterizar el problema de la comprensión de la cuántica en la escuela secundaria desde la intervención didáctica nos demandó construir un referencial teórico que entrelazó cuestiones de filosofía, epistemología, física, psicología, lingüística y didáctica de las ciencias; y un encuadre metodológico enraizado en la etnografía colaborativa. Ambos elementos, reelaborados en distintos momentos de la investigación prefiguraron criterios epistemológicos y metodológicos basados en las siguientes conjeturas de trabajo:

a) El estudio de la comprensión de la FMyC en la escuela secundaria actual requiere incluir la visión y opinión de los profesores y estudiantes participantes (Litwin, 1997; Luque et al., 1997; Taylor y Bodgan, 2009).

---

<sup>4</sup> Dankhe (1986 en Hernández Sampieri et al., 2000: 60) indica que “los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis” para lo cual se miden o evalúan diversos aspectos de fenómenos y situaciones.

<sup>5</sup> Estos aspectos se basan en las configuraciones didácticas desarrolladas por Litwin (1997) en un estudio sobre las buenas clases de ciencias sociales universitarias.

b) La comprensión de la FMyC en la escuela media es un problema didáctico que demanda ser encarado conceptual, sistémica e institucionalmente (Toulmin, 1987; Habermas, 1992; Astolfi, 2004).

En síntesis, este trabajo trata de construir categorías teóricas sobre la comprensión escolar de la cuántica articulando antecedentes teóricos y metodológico con la descripción empírica acerca de qué y cómo se enseña FMyC en un colegio secundario argentino con la colaboración de los profesores y estudiantes participantes<sup>6</sup>.

### Una aclaración necesaria

Las clases de FMyC que observamos se desarrollaron en dos cursos de sexto año con orientación en ciencias exactas del CNBA, allí el nivel de complejidad conceptual y formal con que se enseña Física es más elevado que en otros colegios secundarios de Argentina. En esta institución de elite<sup>7</sup>, como hemos caracterizado al CNBA a partir de una clasificación de Maragliano (1986, apud Camilloni, 2008: 57), la educación en Física que se brinda persigue objetivos que están a mitad de camino entre los de la formación científica universitaria — orientados a “realizar entrenamientos dirigidos a hacer ciencia”— y los de la formación escolar secundaria común — orientados a “compartir significados en el contexto de las ciencias” (Moreira, 2003)<sup>8</sup>. Esta característica establece un tipo de currículo “propedéutico, puente y mixto” (Lobato y Greca, 2005) coherente con el hecho de que la mayoría de los alumnos que terminan el sexto año con orientación en ciencias exactas del CNBA sigue estudios universitarios de Matemática, Computación, Química, Física o Ingeniería.

---

<sup>6</sup> La colaboración consistió en considerar las opiniones de los estudiantes y profesores participantes para definir la muestra intencional de clases más comprensivas de FC y para ajustar las elaboraciones que íbamos logrando durante el análisis.

<sup>7</sup> Camilloni (2008: 57) en su caracterización de la didáctica señala su naturaleza política y su compromiso con la formación de un tipo de hombre y de sociedad. Basándose en Maragliano (1986) diferencia tres tipos de escuelas y de modos de transmisión de la cultura: ‘escuela clásica’, ‘escuela de masas’ y ‘escuela de elite’. En particular, la escuela de elite selecciona a sus estudiantes, y la transmisión de la cultura es sólo para aquellos que “están dotados de capacidad para aprehender la verdad”.

<sup>8</sup> Moreira (2003) indica que el objetivo de la educación en ciencias es “hacer que el alumno aprenda a compartir significados en el contexto de las ciencias” mientras que en la formación del futuro científico el objetivo es desarrollar un “entrenamiento dirigido a hacer ciencia”.

## Preguntas iniciales

Al iniciar el trabajo nos hemos formulado preguntas que permitieron evaluar la viabilidad de hacer un estudio empírico y naturalista sobre la comprensión de la FMyC en la escuela media. Dichas preguntas son las siguientes:

- ¿Cuáles son las principales dificultades que enfrenta la enseñanza de la FMyC en la escuela secundaria argentina actual?<sup>9</sup>

- Actualmente, ¿existen prácticas concretas de enseñanza de la FMyC en el nivel secundario que puedan caracterizarse como comprensivas para los estudiantes y los profesores participantes?

Es decir que en primera instancia nuestro interés praxiológico se orientó a reconocer dificultades y luego a identificar la existencia de intervenciones didácticas en el área de la FMyC que pudiesen ser valoradas como comprensivas por los propios participantes para luego estudiarlas.

Al planificar la investigación enunciarnos las siguientes preguntas que configuran el problema de investigación.

La pregunta general que guía el estudio de las clases comprensivas de cuántica en el CNBA es:

- ¿Qué características presenta la enseñanza de la FC en las clases consideradas más comprensivas por los profesores y estudiantes participantes?

La enunciación de las preguntas específicas se basa en el marco teórico y metodológico que construimos en acuerdo con la visión de los profesores Litwin (1997) y Moreira (2006) acerca de la importancia de realizar un microanálisis de la interacción lingüística desarrollada en las clases de FC más comprensivas y un macroanálisis de entrevistas, documentos y otros elementos contextuales.

*... un modo adecuado de entender estos y también otros problemas del discurso pedagógico sería inscribirlos en el marco de una teoría de la acción comunicativa que analice críticamente la función lingüística en el aula... Las formas, los estilos, las calidades de negociación difícilmente puedan estudiarse desde la perspectiva de un sistema de categorías... cada proceso de negociación da cuenta de una situación particular. (Litwin, 1997: 105).*

Las preguntas de investigación específicas son:

---

<sup>9</sup> Algunas de las omisiones y dificultades que planteamos en este capítulo se derivan de nuestra experiencia docente e investigativa previa. En particular, de los estudios en terreno realizados en otras instituciones entre el 2002 y 2008 que comentamos en este capítulo.

1. ¿Qué características presentan los conocimientos físicos desplegados en las clases comprensivas de cuántica en sus aspectos teórico – filosóficos y técnico-experimentales?
2. ¿Cuáles son las formas particulares de intervención pedagógica más comprensivas para los profesores y estudiantes participantes?
3. Los profesores, ¿cómo anticipan, desarrollan y evalúan su actuación didáctica y su desarrollo profesional en el CNBA?
4. Los profesores, ¿cómo guían la construcción social de conocimientos<sup>10</sup> cuánticos en las clases consideradas más comprensivas por los estudiantes y por ellos?

### **Enfoques teórico y metodológico**

El marco teórico permite construir una concepción de la comprensión científica en el contexto de la educación secundaria integrando ideas de Toulmin (1977), Habermas (1987, 1992), Vygotsky (1987, 1991), Wertsch (1988), Rivière (1996), Hodson (1994), Litwin (1997), Guridi et al. (1999); Moreira (2000), Astolfi (2004), Mortimer y Scott (2002); Bolívar Botía (2004), entre otros. Una articulación de dichas ideas, en el capítulo III, guió la descripción, análisis e interpretación del texto y contexto de las clases y también un acercamiento a la idiosincrasia de los profesores que diseñaron y condujeron dichas clases. Este último aspecto resultó particularmente necesario para poder aprehender y entamar los significados que elaboran los propios sujetos inmersos en esa institución escolar concreta.

Metodológicamente la investigación es un estudio de caso didáctico de tipo etnográfico y colaborativo que enfoca el análisis de la enseñanza comprensiva de forma naturalista y no intervencionista, con una mirada empática, interpretativa y consciente de las limitaciones que este tipo de enfoque puede conllevar a pesar de las distintas instancias de validación generadas mediante procesos colaborativos de triangulación (Stake, 1999: 50). Buscamos hacer visibles las

---

<sup>10</sup> Algunos de los aspectos que configuran las preguntas se basan en una herramienta de análisis desarrollada por Mortimer y Scott (2002) en la cual se define que las *intenciones* del profesor pueden ser crear un problema, mantener la narrativa, etc. Los *contenidos* del discurso pueden ser de descripción, explicación o generalización. El *abordaje comunicativo* se describe en función de que el discurso combine los modos dialógico o de autoridad, e interactivo o no interactivo. Las *formas de intervención* pueden ser seleccionar o marcar significados, etc.

*buenas prácticas* existentes en nuestro medio como una instancia previa y necesaria a la de experimentar otras alternativas.

### **La Teoría Cuántica en la escuela**

La Teoría Cuántica (TC) y la Teoría de la Relatividad (TR) son partes esenciales de la Física Moderna y Contemporánea (FMyC). Los conceptos y modelos de la TC se refieren a la estructura submicroscópica de la materia, la radiación y las interacciones entre ambas. Sobre los orígenes de la TC, Alonso y Finn (1990: 4) relatan que: *“A fines del siglo XIX y durante el primer cuarto del XX se acumuló cierta evidencia experimental de que la interacción de la radiación electromagnética con la materia no estaba enteramente de acuerdo con las leyes del electromagnetismo... sintetizadas en las ecuaciones de Maxwell”*. Simultáneamente al desarrollo experimental, que dio como resultado el descubrimiento del electrón y la confirmación del modelo nuclear para el átomo, se desarrollaba la teoría atómica de la estructura de la materia concluyéndose que el movimiento de las partículas subatómicas no respondía a las suposiciones newtonianas. Ambas dificultades obligaron a revisar los conceptos clásicos para aplicarlos al mundo atómico. La explicación de las novedades experimentales requirió incorporar una serie de ideas que evolucionaron con el esfuerzo de muchos científicos brillantes constituyendo lo que actualmente se denomina TC. La TC está constituida por conceptos y modelos que estudian los fenómenos físicos mediante interacciones y probabilidades de interacciones entre partículas atómicas y subatómicas. La TC explica fenómenos del micro, meso y macrouniverso<sup>11</sup>, la producción de nuevos materiales y el desarrollo de gran parte de las tecnologías actuales.

Desde un enfoque histórico, la enseñanza introductoria de conceptos y modelos cuánticos<sup>12</sup> en la escuela media requeriría, por un lado, una revisión de sus bases experimentales y conceptuales y,

<sup>11</sup> Física Cuántica Boletín educ. ar Año 8, n° 272. Secuencias Didácticas.

<sup>12</sup> En un artículo previo (Iglesias et al., 2007) decíamos que “En los estudios orientados a la identificación y superación de obstáculos conceptuales y didácticos sobre modelos atómicos se pueden distinguir un enfoque “histórico” y otro “contemporáneo”. El *enfoque histórico* enmarca cronológica, filosófica y socialmente los procesos internos del cambio científico y permite establecer puentes conceptuales entre la descripción macroscópica de la materia y las explicaciones microscópicas de los procesos de interacción entre materia y energía. Este enfoque es sostenido por aquellos que comparten una perspectiva constructivista. Así, Kragh (1992) considera que no puede comprenderse qué es la ciencia, cómo avanza y cuál es su impacto sin conocer los cambios por los que ha pasado el conocimiento a lo largo de la historia. Lühl (1992) propone utilizar el método histórico - genético para que los estudiantes perciban las complejas interacciones entre desarrollo científico y acontecimientos



por otro, encarar una perspectiva ontológica y epistemológica sistemática que desafíe los modos de explicación e interpretación desplegados en las teorías físicas clásicas<sup>13</sup> (Montenegro y Pessoa, 2002).

Blackwood et al. (1963: 178) al explicar las dificultades con que chocaba la TC de Bohr cuando se la aplicaba a átomos con más de dos partículas afirmaban que:

*“Gradualmente gravitaron sobre el problema ideas que entrañaban la filosofía básica de la física, la interpretación adecuada de las experiencias y el significado de los modelos atómicos. Por ejemplo, en general se admitía que nunca sería posible observar en forma directa un electrón moviéndose en una órbita en derredor del núcleo. Poco a poco se llegó a reconocer que las propiedades de un átomo debían necesariamente inferirse o deducirse a partir de experimentos indirectos...”*

Ya pasó más de un siglo desde la creación de la TC pero dentro de la comunidad de profesores las dificultades que su enseñanza comprensiva acarrea suelen eludirse mediante la adopción de una actitud pragmática y reduccionista que afirma por ejemplo: “No debe pretenderse una comprensión de la Cuántica durante su enseñanza es suficiente desarrollar la descripción empírica y cuantitativa de los fenómenos del micromundo” o, como dicen Ostermann y Ricci (2005)<sup>14</sup>, “los profesores de Mecánica Cuántica muchas veces se esconden detrás de la Matemática evitando abordar los aspectos conceptuales”. Sin embargo, esta forma de considerar una de las teorías científicas fundamentales de la actualidad -por sus relaciones con otras ciencias, las tecnologías de uso cotidiano, la filosofía, el arte y la sociedad- ha bloqueado gran parte del interés por enseñarla y por investigar cómo hacerlo en las aulas de nivel secundario bajo el argumento de que en este nivel escolar los alumnos no manejan el instrumental matemático necesario para poder acceder a la descripción cuantitativa de sus conceptos y modelos. Cuando el planteo debiese ser inverso: dado que los conceptos de la TC son complejos y contraintuitivos

---

histórico-filosóficos relacionados con la Teoría Atómica. El *enfoque contemporáneo*, sugerido por Dirac (1957), uno de los creadores de la Cuántica preocupado por su enseñanza, postula en cambio que los estudiantes deben evitar el aprendizaje de conceptos clásicos y deben tratar de interpretar directamente los fenómenos cuánticos a partir de la discusión de los propios conceptos cuánticos. Esta perspectiva es sostenida por autores como Fischler y Lichtfeldt (1992), Niedderer y Deylitz (1999), Greca y Herscovitz (2002).

<sup>13</sup> Por ejemplo, en los años veinte el desconcierto de los científicos ante las dos teorías que circulaban sobre la radiación — la teoría ondulatoria que explicaba la interferencia y la difracción y la teoría de los fotones (corpuscular) que justificaba el efecto fotoeléctrico y la radiación proveniente de cuerpos negros — era muy grande pues requería modificar procedimientos experimentales y modos de entendimiento deterministas desarrollados hasta entonces por la FCI. Las formas nuevas de hacer ciencia dieron lugar a la creación de conceptos como los de cuantización, dualidad, complementariedad, incerteza.

<sup>14</sup> Ostermann y Ricci. Conceitos de física quântica na formação de professores: relato de uma experiência didática centrada no uso de experimentos virtuais. Cad. Brás. Ens. Fís., v. 22, n. 1: p. 9-35, abr. 2005

y requieren aprendizajes profundos y extendidos en el tiempo, debiesen introducirse en la enseñanza media (Barbosa y Pacca, 2007).

### **Limitaciones del estudio**

No intentamos hacer un estudio centrado en la enseñanza del contenido conceptual ni en el aprendizaje de los alumnos, aunque los hayamos considerado. No realizamos el análisis de un caso típico, ni hemos encarado los problemas desde una teoría o visión única. Tampoco nos propusimos arribar a generalizaciones universales ni formular recomendaciones exhortativas (Stake, 1999: 50).

Sí en cambio, como fue mencionado, partiendo de la cotidianeidad de las clases de Física de nivel medio de la educación pública de Argentina, el estudio trata de revelar lo que trasciende a la experiencia, de considerar los esfuerzos de los profesores y alumnos para superar ciertos obstáculos inherentes a las prácticas educativas y profesionales, y de reconstruir el significado<sup>15</sup> de las clases para los profesores y estudiantes participantes (Granger, 1989).

### **Omisiones en el desarrollo de una enseñanza comprensiva de la FC, una visión personal**

A partir de nuestra experiencia docente, de las investigaciones didácticas que hemos realizado sobre el tema y de una revisión del estado del arte que presentamos el capítulo II y en el ANEXO, nos permitimos detallar sin pretensión de exhaustividad ni de un ordenamiento jerárquico, algunas de las dificultades<sup>16</sup> y omisiones que desde una perspectiva personal podrían dificultar el desarrollo de clases comprensivas de cuántica en la escuela secundaria actual.

La primera omisión se refiere a la ausencia de la FMyC en las aulas de Física del nivel secundario. Aunque desde hace más de cuatro décadas el tema figura en programas y textos didácticos habituales y las políticas ministeriales insistan en la necesidad de la enseñanza de la

<sup>15</sup> Al final del capítulo II retomamos el concepto de significado y esquematizamos gráficamente el alcance que le damos en este trabajo.

<sup>16</sup> De las dificultades mencionadas algunas pueden concebirse como *problemas pedagógicos, epistemológicos o lingüísticos* en ciencias. Otras relacionadas con los sistemas explicativos de los alumnos o representaciones y son resistentes a cambiar frente a los nuevos conocimientos pueden considerarse *obstáculos epistemológicos, psicológicos, culturales* (Bachelard, 1985; Astolfi, 2001; Rouxinol dos Santos Neto y Pietrocola P. de Oliveira, 2005).

FC, como se observa en las Fuentes para la Transformación Curricular del nivel Polimodal (1996)<sup>17</sup> o en los Núcleos de Aprendizaje Prioritario (Ley Nacional de Educación, 2006), la ausencia de la FMyC persiste en las aulas según pudimos comprobar personalmente durante la búsqueda de profesores para participar en este trabajo en distintas escuelas secundarias de la ciudad de Buenos Aires y del conurbano. Pero también sucede lo mismo en Latinoamérica y España (Arriasecq y Greca, 2004)<sup>18</sup>.

Pensamos que otra dificultad para la comprensión se encuentra en la estructura de los textos para el nivel secundario. En un trabajo previo (Iglesias et al., 1997) donde habíamos planteado criterios para analizar y seleccionar textos didácticos introductorios sobre temas de FMyC que luego aplicamos a un conjunto de libros de Física de nivel secundario utilizados en las décadas del '70, '80 y '90 en Argentina, pudimos observar que si bien los textos analizados desarrollan temas de FMyC - como puede constatarse, por ejemplo, en uno de los libros clásicos para la enseñanza secundaria de Física en Argentina, *Física I* de Maiztegui y Sábato (1972)<sup>19</sup> o en otro más actual, *Física Conceptual* de Paul Hewitt (1995) – ninguno considera cuestiones epistemológicas como los cambios paradigmáticos entre modelos clásicos y cuánticos y las discontinuidades conceptuales y procedimentales implicadas (Kuhn, 1971; Gil Pérez et al., 1987), tampoco consideran aspectos cognitivos de los estudiantes como las estrategias lectoras, el papel de los conocimientos previos en el recuerdo y la comprensión, o las motivaciones, capacidades y necesidades surgidas de las interacciones sociales y contextuales (Van Dijk, 1978; García Madruga, 1987). Sin restar importancia al aporte que significan para la enseñanza consideramos que los textos analizados descuidan aspectos que podrían facilitar la comprensión de la FMyC en el nivel secundario.

---

<sup>17</sup> El Polimodal es uno de los ciclos de la enseñanza secundaria. Es orientado por áreas disciplinares y tiene una duración de tres años. Se implantó a partir de la reforma educativa de 1993. Las orientaciones ministeriales sobre los contenidos de enseñanza se desplegaron en documentos denominados "Fuentes para la transformación curricular". Las orientaciones correspondientes al tema FMyC se ubican en el área de "Ciencias Naturales". Ministerio de Cultura y Educación (1996).

<sup>18</sup> En la enseñanza secundaria de la Física, la omisión de temas correspondientes a la FMyC fue detectada en estudios de nuestro país, de Latinoamérica y de España [ver Arriasecq y Greca, (2004) *Enseñanza de la teoría de la relatividad especial en el ciclo Polimodal, dificultades manifestadas por los docentes y textos de uso habitual*. Rev. Electrónica de Enseñanza de las Ciencias. V.3. N°2. 211-227].

<sup>19</sup> Por ejemplo, el texto de Maiztegui y Sábato (1972) desarrolla los temas: Teoría de los cuantos. Rayos X. Efecto Fotoeléctrico y Compton. Modelos del Átomo. Mecánica Cuántica. Principio de incertidumbre. Radioactividad. Aceleradores, contadores y detectores de partículas. Partículas elementales. Radioactividad. Fisión y Fusión. Relatividad.

Otras omisiones que pueden dificultar la comprensión están referidas a que durante la enseñanza introductoria de la TC en la escuela secundaria los docentes prestamos poca o nula atención a considerar: la naturaleza ontológica de los objetos cuánticos, los procesos de modelización, la capacidad de figuración e imaginación de nuestros estudiantes y las dificultades lingüísticas y semánticas derivadas de la traducción de conceptos cuánticos del inglés y el alemán al español.

Respecto al primer aspecto, la naturaleza ontológica de los objetos cuánticos, Klimovsky (1999: 321) plantea que al remitirnos a una disciplina o teoría científica que se ocupa de objetos, de entes y de las creencias que sobre ellos construimos necesitamos conocer la naturaleza ontológica de los objetos con que dicha disciplina o teoría trabaja. Es decir, debemos referirnos a la relación entre términos empíricos o entidades observables que se presentan y pueden conocerse mediante algún procedimiento notorio sin soportes conceptuales ni entidades teóricas (p. ej.: la aguja, la marca y la relación de coincidencia observable por nuestros sentidos en un dial o escala), y términos teóricos o entidades indirectas (p. ej.: los átomos, los campos o los genes) que están más allá de la observación y de la práctica y demandan para su conocimiento la ayuda de instrumentos teóricos como el lenguaje, los modelos y teorías. Considerar la importancia que para la ciencia tiene el uso de términos teóricos ha admitido históricamente diferentes respuestas. Desde una posición realista, muy extendida en la comunidad de investigadores en educación en física:

*“Los términos teóricos designarían, o sea, pretenderían aludir a una determinada entidad no observable”... De este modo se “considera real al referente del término teórico”. El realismo es muy atractivo para muchos epistemólogos pues “responde a nuestras pretensiones de obtener conocimiento que trasciende el de la base empírica. De hecho, la ambición del realista es conocer cómo es el mundo en sus fundamentos ontológicos o, al menos, lo que existe más allá de lo accesible a nuestros sentidos e instrumentos...” (Ídem, pág. 328, 329)*

¿De qué depende el significado de los términos teóricos? Para un científico realista “el significado de los términos teóricos depende de la teoría que los emplea”<sup>20</sup> (ídem).

Recordemos que:

*“... los científicos trabajan con sistemas simplificados e idealizados, que no son más que entidades abstractas en las cuales se consideran como variables sólo los factores relevantes..., o se suponen ciertas características de los objetos inobservables que componen el sistema. Tales sistemas abstractos son los que suelen denominarse <modelos> del sistema real... Así, pues, se <construye> el modelo de un péndulo observable como un péndulo sin rozamiento y con hilo inextensible...”. (Lombardi, 1998).*

---

<sup>20</sup> Klimovsky ejemplifica la posición realista con los conceptos “masa” y “fuerza” que si bien son entidades no observables su existencia (significado) está asegurada porque “son entidades que cumplen las condiciones establecidas por la teoría newtoniana en sus principios, las leyes de masa, inercia y de interacción”.

El significado de los conceptos cuánticos obedece a construcciones teóricas elaboradas por los científicos a partir de fenómenos físicos concretos mediante la determinación de variables y de sus relaciones necesarias denominadas modelos. No todos los modelos y conceptos son ontológicamente iguales. Un péndulo y un electrón son conceptos representativos de objetos científicos cuya naturaleza es diferente y sin embargo los profesores solemos presentarlos como objetos similares, esto, posiblemente, también aumente las dificultades de comprensión. Gurgel y Pietrocola (2003) además señalan:

*“...Observamos que los conceptos científicos no poseen una definición concreta, que los reduzca a proposiciones observables tornando fácil la construcción de su significado a través de la capacidad de identificación en diversas situaciones. Los conceptos son categorías que no son reducibles lógicamente a la realidad. La mediación entre el mundo de los conceptos y el mundo de los sentidos es producida por elementos subjetivos como la intuición”<sup>21</sup>.*

Si bien se han estudiado con mucho detalle los procesos lógicos relacionados con el aprendizaje de conceptos científicos hay mucho por conocer sobre las formas acerca de cómo nuestra mente crea y capta ideas sin relación aparente con nuestras percepciones. Para crear nuevas representaciones y aprehender el mundo físico es necesario usar todos los recursos mentales que el sujeto posee: razón, imaginación, intuición, figuración... Consideramos que una aplicación exagerada del racionalismo científico, tan necesario para reflexionar sobre las perplejidades internas que la FC genera (Lombardi, 2005)<sup>22</sup> o para la producción y comunicación científica profesional, durante la enseñanza media puede provocar clases incomprensibles (Sutton, 1993, 1997; Wagensberg, 2004).

En una investigación que realizamos sobre motivación y comprensión inicial de la cuántica en la escuela secundaria (Iglesias, 1999, 2008) nos hemos preguntado ¿cuáles son los procedimientos mentales y lingüísticos que permiten a un alumno concebir y expresar coloquialmente los cambios inconmensurables involucrados en la descripción de fenómenos del mundo atómico? y

<sup>21</sup> Nuestra traducción.

<sup>22</sup> “A comienzos del siglo XX, la mecánica cuántica irrumpe en el escenario científico, produciendo una profunda revolución en la física contemporánea. Desde entonces, sus impresionantes éxitos predictivos la han convertido en la teoría fundamental de la física teórica. Pero a pesar de sus numerosas confirmaciones empíricas, aún en la actualidad la mecánica cuántica sigue provocando múltiples perplejidades: nunca antes en la historia de la ciencia una teoría científica generó tantos debates en torno a su interpretación. Y es que hay algo esencialmente elusivo en la mecánica cuántica que hace que, a más de cien años de su formulación original, no podamos todavía discernir con claridad la ontología descrita por la teoría. Por otra parte, si bien existe una estructura matemática que permite formular la mecánica cuántica en términos formales con total precisión, la teoría se resiste a todo intento de traducir el formalismo matemático a un lenguaje lógico tradicional.”

también ¿cómo hacer para comenzar a construir el significado inicial de ideas tales como el vacío o la discontinuidad de la materia y la energía como plantea la Cuántica? Apoyándonos en los hallazgos que filósofos, historiadores y lingüistas han relevado sobre las características del lenguaje utilizado por los científicos cuando expresan sus ideas en las etapas iniciales de la creación científica<sup>23</sup> diseñamos un experimento didáctico que mostró cómo se facilita la comprensión inicial de la Cuántica cuando se estimula a los estudiantes a desarrollar ideas sobre el mundo atómico a partir de la creación de cuentos fantásticos mediante el uso del lenguaje figurado -analogías, metáforas, oxímoron y sinécdoques- antes de acceder a la ficción racional o hipotetización científica (Eco, 1995; Rivière, 1997). En publicaciones recientes figuran relatos de experiencias de formación de profesores en las que se abordan los límites del conocimiento científico en el aula de física mediante la utilización y el análisis de videos existentes en el circuito comercial sobre ideas cuánticas, sin embargo tanto la producción de cuentos fantásticos como la utilización de videos constituyen aún experiencias puntuales (Piassi et al., 2007).

La omisión de aspectos como los mencionados podría relacionarse no sólo con las dificultades de comprensión sino también con el decaimiento del interés y de la implicación personal de los alumnos en los cursos de ciencias de nivel secundario y universitario básico, cuestión que estudió Lyons (2006) en un trabajo donde compara las opiniones de estudiantes secundarios de Suiza, Inglaterra y Australia con los resultados de estudios interpretativos realizados por Lindhal, Osborne y Collins (2006) que identifican tres temas críticos de la educación escolar contemporánea en ciencias: el predominio de una pedagogía transmisiva, la descontextualización del contenido y el exceso de dificultades innecesarias.

Para mejorar la comprensión inicial de la cuántica también hay limitaciones relacionadas con el uso del idioma español que, por ejemplo, carece de términos para describir las propiedades de algunos objetos cuánticos como sucede con el concepto de fotón. Canals Frau (1993: 9) señala al respecto que:

---

<sup>23</sup> Sutton (1997) argumenta que hay que superar la controversia entre lo figurativo y lo literal o entre lo metafórico y lo factual pues con estos recursos mentales tanto científicos expertos como estudiantes neófitos comienzan a pensar y a hablar sobre novedades y con los cuales, en todo caso, los profesores debiésemos trabajar para poder “convertir la sugestiva metáfora en un modelo del cual se puedan derivar predicciones contrastables”. Además el autor reflexiona que: “la seguridad con la cual usamos el lenguaje <factual> en la escuela, lo que deja en los estudiantes, es la impresión de que los científicos se proponen <descubrir> hechos sobre el mundo natural, haciendo experimentos y viendo qué sucede, en lugar de seguir un proceso imaginativo y de construcción laboriosa”.

*“En la literatura física, el concepto <fotón> tiene varios significados diferentes. A menudo la palabra se usa meramente como un sinónimo de luz, otras veces un fotón es considerado como una ‘partícula de luz’ y un haz de luz es considerado como una ‘lluvia de fotones’”.*

También cuando no hay términos que permitan expresar el cambio de propiedades, de clásicas a cuánticas, asociado a una partícula como la pérdida de precisión en la posición, tal como señala De la Torre (1995: 49):

*“En la física clásica, el ser de una partícula está asociado al estar precisamente en algún lugar. Con el advenimiento de la física cuántica debemos aprender a concebir la existencia de las partículas sin que esto implique una localización precisa. Esto requiere una angustiosa modificación de nuestros conceptos clásicos. Clásicamente ser y estar son casi sinónimos. El idioma castellano es uno de los pocos (si no el único) en utilizar palabras diferentes para estos conceptos clásicamente ligados. Inglés, francés, alemán, italiano y posiblemente otros lenguajes emplean la misma palabra. Si Hamlet, en vez de ser un príncipe danés del siglo XVI, fuese un físico del siglo XX, hubiese expresado su angustia diciendo: <Ser y no estar. Esa es la cuestión de la física cuántica>, que en inglés toma una forma aparentemente contradictoria: <to be and not to be...>”.*

Asimismo hay más dificultades con el lenguaje: al contrastar las metáforas conceptuales y los esquemas de imagen de la cuantificación y la discontinuidad de la materia cuántica en textos en inglés y en español, Cuadrado Esclapez y Berge Legrand (2007) indican que *“aunque las metáforas conceptuales trascienden las fronteras lingüísticas, no siempre resultan ser isomórficas en los dos idiomas”* porque muchas palabras producidas en inglés por científicos alemanes al ser traducidas al español han sufrido una reinterpretación semántica.

Otras trabas para el desarrollo de la comprensión de la cuántica en la escuela media surgen cuando se niegan o rompen las relaciones entre educación, ciencia y tecnología como sucede cuando se considera a “la tecnología como mera aplicación de los conocimientos científicos ignorando totalmente su papel en el proceso de construcción de dichos conocimientos”. En las instituciones escolares donde se sostiene este tipo de creencias puede observarse que los trabajos prácticos de laboratorio, por ejemplo, se presentan mediante montajes preelaborados siguiendo guías tipo 'receta de cocina' que no permiten a los estudiantes acercarse al diseño de experimentos para someter a prueba las hipótesis y así comprender el rol que la tecnología y la técnica tienen en el aprendizaje de la física. (Maiztegui et al., 2002; Fernández et al., 2003).

La disociación del vínculo entre educación, ciencia y tecnología se refuerza también desde otros lugares como los medios de comunicación. Al respecto, resulta muy elocuente leer en uno de los principales diarios argentinos cómo se presentó el megaexperimento más importante de la FC

actual al afirmar que “quienes participan son 6000 físicos de 100 países” y omitir en el anuncio que también participan ingenieros, técnicos e investigadores de muy diversas especialidades<sup>24</sup>. Creemos desde una perspectiva socialmente situada pensar los problemas de comprensión de la ciencia en la escuela media, que las omisiones presentadas por los medios de comunicación no son aisladas ni casuales sino que por el contrario trasuntan modelos estratégicos de generar opinión pública y verdaderos obstáculos culturales<sup>25</sup> al construir visiones empobrecidas y escindidas del sistema educación, ciencia, tecnología y sociedad y condicionar políticas educativas, científicas y tecnológicas retrógradas.

En el caso particular de la educación media y técnica de gran parte de nuestro país es un compromiso ético mencionar además otras dificultades relacionadas con las condiciones de carencia socio-pedagógicas que experimentan los estudiantes y docentes de la mayoría de las escuelas secundarias. El profesor de Física, habitualmente mejor preparado para desarrollar contenidos técnico-disciplinares que para enfrentar obstáculos socio-pedagógicos, se ve desbordado y hasta paralizado por la complejidad de las situaciones sociales que involucran a sus estudiantes y por no encontrar un adecuado sostén de parte del sistema educativo. En la Argentina, hasta hace cuatro décadas aproximadamente, la educación, además de ser un instrumento para el ascenso social de las grandes mayorías y la distribución democrática del conocimiento, se orientaba a que los más jóvenes se formaran para trabajar en un país con un proyecto de desarrollo científico y tecnológico (Rotunno y Díaz de Guijarro, 2003). Sin embargo, desde la época de las últimas dictaduras se han impuesto cambios estratégicos en todas las políticas nacionales y las dirigidas al sistema educación, ciencia y tecnología han profundizado las dificultades existentes hasta niveles insospechados. Así, la privatización de empresas públicas estratégicas como Gas del Estado, Yacimientos Petrolíferos Fiscales, Ferrocarriles o la Empresa Nacional de Telecomunicaciones; la desaparición de instituciones como el CONET, la supresión de impuestos a la educación técnica, y la “transformación” de la educación general y superior mediante la sanción y aplicación de medidas como la Ley Federal de Educación 24195 de 1993 y

---

<sup>24</sup> Diario La Nación fecha 11 de septiembre de 2008.

<sup>25</sup> Brousseau al aplicar en la educación matemática la idea de obstáculo epistemológico de Bachelard despliega otro tipo de obstáculos como los didácticos, psicológicos, ontogenéticos y culturales. Los **obstáculos culturales** corresponden a ciertas formas históricas de pensar cuyos sentidos políticos y culturales tienen un peso permanente en las decisiones personales (Brousseau, 1981, en Rouxinol dos Santos Neto y Pietrocola, 2005).



la de Educación Superior de 1995 han resultado estrategias eficaces para dejar sin recursos suficientes al Estado Nacional y a las jurisdicciones provinciales para mejorar la educación general y la técnico-científica en particular y también para sostener y mejorar el sistema educación, ciencia y tecnología que con el esfuerzo de tantas generaciones se había comenzado a construir (Vior y Wiñar, 2005).

En el área de enseñanza de las ciencias físico-químicas para el nivel medio, en casi todas las jurisdicciones salvo la Ciudad de Buenos Aires y las provincias de Río Negro y Neuquén, desaparecieron horas de física y química, se “reciclaron” docentes con gran experiencia que pasaron a otras tareas y muchos docentes del nivel elemental “reciclados” mediante cursos de actualización poco adecuados comenzaron a dictar materias del área de las ciencias experimentales. La implementación del Polimodal facilitó la fragmentación en trayectos técnico-profesionales y debilitó la formación básica inicial en ciencias físico-químicas. Los profesores ante las nuevas configuraciones institucionales tuvieron que disminuir la carga horaria por escuela y trabajar en más instituciones para poder vivir. Esto profundizó el modelo de “profesor taxi” y desarticuló las ya escasas posibilidades que tenían para capacitarse. Con sólo quince años de aplicación de las políticas mencionadas, variadas dificultades pueden observarse en la enseñanza de la Física y de otras ciencias experimentales: la matrícula de los profesorado de Física de muchos institutos de formación superior está estancada o disminuye año a año; la mayoría de los aspirantes a ingresar en las universidades públicas no logran superar las dificultades de los exámenes de matemáticas y de ciencias; las escuelas secundarias que hasta hace dos décadas atrás eran consideradas socialmente como modelos de la educación pública (como las escuelas “de cabecera” de las comunas del Gran Buenos Aires, las escuelas con “Proyecto 13” o las escuelas normales con departamentos de aplicación), hoy muestran importantes deterioros en todos los órdenes. El panorama de la escuela pública permite reconocer que los docentes están desmotivados y pauperizados; los laboratorios devastados y las bibliotecas destinadas a otras funciones. También son observables los altos niveles de abandono, bajos niveles de rendimiento y de promoción, repitencia, incremento de la violencia grupal e institucional, aumento de las dificultades para garantizar los trayectos escolares, devaluación de las certificaciones, entre otros. (Ferreyra et al, 2006; Iglesias et al., 2007).

La insuficiente visibilidad que aún tienen estas cuestiones para el profesorado y los investigadores en didáctica dificulta poder encararlas como problemas específicos de la educación en ciencias. Creemos, sin embargo, que la gravedad de los problemas educativos en ciencia y tecnología en la Argentina actual y de los que se pueden prever para dentro de pocos años requiere ampliar la perspectiva con que se encara la investigación didáctica tradicionalmente centrada en cuestiones conceptuales y cognitivas enmarcadas en el aula para dar lugar a enfoques sociocognitivos que contemplen el contexto y el desarrollo profesional del docente de Física (Rezende y Ostermann, 2006)<sup>26</sup>. Si bien esta investigación no encara las omisiones y dificultades descriptas han constituido soportes ideológicos durante la construcción de perspectivas y conjeturas con que encaramos el problema de la comprensión de la cuántica en la escuela media.

### **El significado de realizar este estudio**

Al comenzar este capítulo I mencionamos que nuestro interés por la comprensión de la ciencia y de la Cuántica en la escuela media no es nuevo como tampoco lo es nuestra mirada psicosocial e institucional del asunto. Pensamos que una de las metas de un profesor de escuela media es ayudar a los estudiantes a construir conocimientos con significados genuinos para ellos mismos. Este trabajo relata el caso de dos profesores de física comprometidos con esa idea.

### **Sobre los resultados**

La investigación realizada nos ha permitido analizar la intervención didáctica sobre temas introductorios de Física Cuántica en dos cursos de 6° año con orientación en Ciencias Exactas del CNBA considerando el contexto del Departamento de Física e interpretar la enseñanza caracterizándola desde indicadores de comprensión. Los mismos pueden constituirse en elementos de discusión durante la formación de profesores y para el desarrollo de una teoría sustantiva sobre la comprensión de la Cuántica en la escuela media.

---

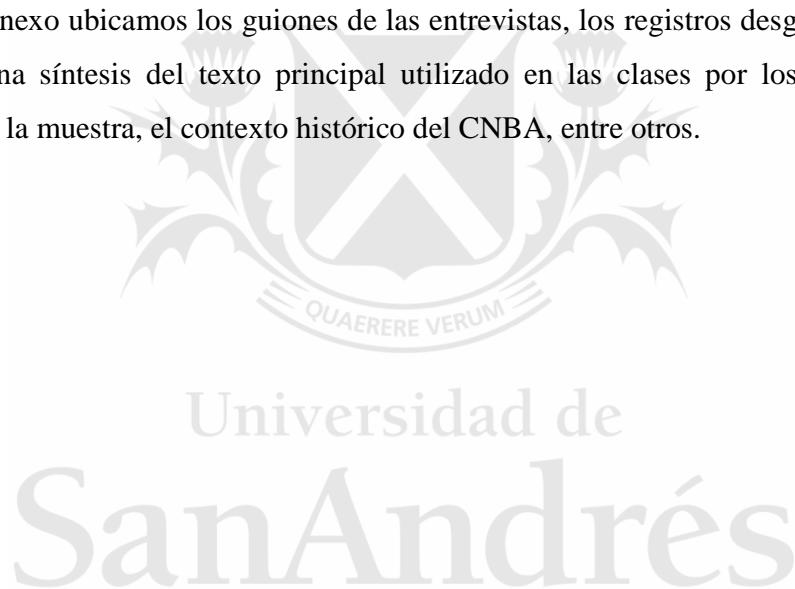
<sup>26</sup> Rezende y Ostermann (2006) Enseñanza-aprendizaje de Física en Brasil: confrontando teoría y práctica en el inicio del siglo XXI. Enseñanza de las Ciencias, 2006. Vol. 24 (3). Pp. 387 – 400.

## Las partes del trabajo

El trabajo consta de dos partes ubicadas en dos libros. El Libro I contiene la investigación distribuida en cinco capítulos y el Libro II contiene el anexo con varios apéndices.

Libro I: El capítulo I es de carácter introductorio. En el capítulo II seleccionamos, organizamos y comentamos los antecedentes bibliográficos relacionados con el problema de investigación. En el capítulo III desarrollamos el marco teórico específico sobre el problema investigado. En el capítulo IV desarrollamos el marco metodológico y la descripción y análisis del material empírico. En el capítulo V realizamos una interpretación de los procesos de comprensión de la Cuántica en una institución escolar y construimos nuevas categorías teóricas.

Libro II. En el anexo ubicamos los guiones de las entrevistas, los registros desgrabados de clases y entrevistas, una síntesis del texto principal utilizado en las clases por los participantes, el microanálisis de la muestra, el contexto histórico del CNBA, entre otros.



The logo of the University of San Andrés, featuring a shield with a white 'X' on a grey background, flanked by two thistles on a decorative base.

**CAPITULO II**

**REVISIÓN DE ESTUDIOS RELACIONADOS CON LA ENSEÑANZA  
DE LA FISICA MODERNA y CONTEMPORANEA PARA NIVEL MEDIO**

Universidad de  
**San Andrés**

## Introducción

*“El átomo es un puñado de razones”*

Gastón Bachelard

Durante los últimos veinte años la producción de trabajos de educación sobre temas de FMyC está aumentando considerablemente tanto es así que algunos autores han comenzado a realizar revisiones de los estudios existentes mediante descripciones y organizaciones como las realizadas por Ostermann y Moreira (2000), Greca y Moreira (2001), Pereira y Ostermann (2009). Son trabajos de gran utilidad pues describen un número importante de investigaciones empíricas en el área de la FMyC para la enseñanza de nivel medio y universitario facilitando las búsquedas y reconstrucciones del estado del arte y una mejor visualización de los enfoques y temáticas de investigación prevalentes en los últimos quince años.

Otros investigadores apoyándose en las revisiones y clasificaciones que hacen los principales manuales (handbooks) particularmente de las publicaciones europeas y anglosajonas construyen visiones abarcativas y críticas del estado actual de la educación en ciencias como es el caso de Duit (2006) que en su artículo “La investigación en enseñanza de las ciencias”<sup>27</sup> presenta un cuadro actual de dicha enseñanza y desarrolla algunas líneas prevalentes dentro de la tradición investigativa en el área. Al respecto señala que en los 80’ el centro de atención fue el aprendizaje de conceptos y principios por parte de los estudiantes y “algunas cuestiones” relacionadas con profesores, mientras que en los 90’ comenzaron a desarrollarse estudios sobre la naturaleza de las ciencias y a convertirse el constructivismo como base epistemológica principal de la investigación en enseñanza y aprendizaje de las ciencias. Duit (ídem) denomina los dos campos mencionados como “*enfoque hacia el estudiante*” y “*enfoque hacia la ciencia*”. Por otro lado, apoyándose en Psillos (2001, ídem), distingue tres modos de investigar en educación en ciencias: el “*práctico*” (referido a los problemas del aula como la enseñanza, la interacción entre enseñanza y aprendizaje, los entornos de aprendizaje, la profesionalidad docente), el “*tecnológico*” (representado por los intentos de los que toman decisiones para mejorar la enseñanza), y el “*científico*” (que presenta la enseñanza de las ciencias como un área de

---

<sup>27</sup> Duit (2006) La investigación en enseñanza de las ciencias. Revista Mexicana en Investigación Educativa, Vol. 11

investigación en si misma). Duit (ídem. p. 247) presenta un modelo de “reconstrucción educativa” (RE) en el cual se plantea la necesidad de “*equilibrar las cuestiones relacionadas con los contenidos de las ciencias y los problemas educativos cuando las secuencias de enseñanza y aprendizaje están hechas para lograr el mejoramiento de su comprensión y pueden, por lo tanto, favorecer el desarrollo de niveles satisfactorios de alfabetización científica*”. El modelo RE, basado en la tradición educativa alemana de la *Bildung* (o “proceso de formación”) y de la *Didaktik*<sup>28</sup> (disciplina ocupada de transformar el conocimiento humano en conocimiento específico y apto para ser enseñado), está vinculado con una perspectiva epistemológica constructivista y sostiene que si se pretende desarrollar un enfoque de mejoramiento educativo los temas de interés deben referirse a tres componentes interrelacionadas: 1) el análisis de la estructura de los contenidos, que incluye la descripción de la materia estudiada y el análisis de su relevancia educativa; 2) la investigación sobre enseñanza y aprendizaje, referida a estudios empíricos sobre aprendizaje -concepciones previas y variables afectivas como intereses, autoconcepciones y actitudes de los estudiantes; enseñanza -estrategias docentes, situaciones de aula e interacciones sociales, lenguaje y discursos-; pensamiento y actuación de los profesores -sus concepciones de los conceptos y principios científicos, de los procesos científicos y la naturaleza de la ciencia (filosofía e historia), de la enseñanza y el aprendizaje así como sobre su desarrollo profesional; recursos y métodos de enseñanza (laboratorios, multimedia, etc.); evaluación de los estudiantes -métodos para monitorear sus logros y el desarrollo de variables afectivas-; 3) el desarrollo y la evaluación de la enseñanza/ diseño instruccional que incluye la elaboración de materiales educativos, actividades y secuencias de enseñanza y de aprendizaje. Un cuarto aspecto que no pertenece al modelo pero que Duit nombra es la investigación sobre currículum y políticas para la enseñanza de las ciencias.

Situados en el camino de estudiar cómo construyen los profesores clases comprensivas de cuántica para los estudiantes y considerando que la enseñanza de las ciencias es una disciplina interdisciplinaria en la cual la ciencia es la disciplina de referencia pero que para su desarrollo requiere la interacción con otras como la filosofía e historia de la ciencia, la pedagogía, la psicología, la lingüística, la antropología y la ética, es obvio que no alcanza con que el docente

---

<sup>28</sup> Esta concepción difiere de la tradición anglosajona en la cual la *Didactic* denota las cuestiones relacionadas con los aspectos técnicos de la educación.

domine el tema para enseñar su materia sino que necesita desarrollar un “*conocimiento pedagógico de los contenidos*”. Éste, según Schulman (1987, apud Duit 2006), implica vincular competencias provenientes del ámbito de los contenidos científicos con las de las otras disciplinas mencionadas. Desarrollar un conocimiento pedagógico de los contenidos es uno de los retos del desarrollo del campo que impacta en la actividad de los profesores y en los estudios que sobre ellos se realizan respecto de: 1. Visión y propósito de la enseñanza de la ciencia; 2. Conocimiento y creencias sobre el currículo de ciencia; 3. Conocimiento y creencias acerca del entendimiento estudiantil<sup>29</sup> sobre tópicos específicos de ciencia; 4. Conocimiento y creencias sobre estrategias de instrucción para enseñar ciencia; 5. Conocimiento y creencias sobre evaluación en ciencia, como planteó Garritz (2009)<sup>30</sup> en la conferencia de apertura del VIII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias, luego de mencionar varios temas importantes para la formación y el desarrollo del profesorado de ciencias actual tales como: afectividad; analogías; argumentación; asuntos socio-científicos; ciencia y tecnología de frontera; competencias; conocimiento didáctico del contenido; globalización; incertidumbre; indagación; modelos y modelaje; naturaleza de la ciencia; riesgo; y tecnologías de la comunicación y la información.

En el marco del artículo que venimos analizando Duit (2006) señala que el enfoque de investigar en didáctica de las ciencias, tradicionalmente experimental, se ha ido ampliando hacia perspectivas más cualitativas, narrativas, etnográficas e interpretativas. Reflexiona que si bien los que enseñan ciencias consideran el mejoramiento de la práctica como propósito principal de la investigación y muchos estudios se orientan a mostrar sólo “lo que funciona” también es necesario realizar otros que permitan tomar conciencia sobre las dificultades existentes en las prácticas reales (Millar, 2003, apud Duit, 2006: 746).

A partir de la visualización general del campo planteada por Duit (2006) podemos afirmar que nuestro trabajo asume un modo práctico de estudiar las clases comprensivas de Cuántica en el nivel secundario y, desde el modelo RE, los temas de interés focalizan la enseñanza, el pensamiento y la actuación de los profesores. Es decir que la búsqueda y organización de fuentes

---

<sup>29</sup> Varios de estos aspectos han sido estudiados por nosotros en las clases y entrevistas pero este aspecto es central para conocer cómo construyen los profesores conocimiento cuántico comprensible para sus estudiantes.

<sup>30</sup> Garritz, A. (2009) Conferencia inaugural VII Congreso Internacional de Enseñanza de las Ciencias. Barcelona. Consultado el 27-12-10 en [http://garritz.com/andoni\\_garritz\\_ruiz/documentos/garritz\\_texto\\_barcelona.pdf](http://garritz.com/andoni_garritz_ruiz/documentos/garritz_texto_barcelona.pdf)

bibliográficas se orientaron hacia la intervención didáctica y además trataron de evaluar en dichas fuentes el lugar otorgado a la *comprensión* y al *valor didáctico* de dichas intervenciones.

### **Definición de términos**

Presentamos a continuación una caracterización del significado inicial que conferimos a los principales términos involucrados en la selección bibliográfica que son: intervención didáctica, introducción a la Cuántica, comprensión, valoración didáctica.

**Intervención didáctica** denominamos así a un conjunto de decisiones y acciones pensadas y realizadas por los profesores y dirigidas a introducir contenidos de Cuántica en las clases.

**Introducción a la cuántica** es un conjunto de contenidos<sup>31</sup> físicos organizados en tramas conceptuales y con niveles de formulación específicos para las clases de Física de sexto año del CNBA. Son descripciones y explicaciones de fenómenos, experimentos y modelos físicos ubicados históricamente entre la última década del siglo XIX y las dos primeras décadas del siglo XX y curricularmente en la unidad denominada “Teoría Cuántica”<sup>32</sup>.

**Comprensión:** Luque Lozano et al. (1997: 324) define, en el marco de una práctica de enseñanza y desde una concepción constructivista, que “*la comprensión es la aprehensión subjetiva del significado*” y que este proceso de aprehensión –que no es el proceso de aprender como plantearemos con más detalle en el cap. 3- puede facilitarse o dificultarse por un elemento subjetivo y emocional relacionado con el sentido y los motivos personales que se establecen frente al conocimiento y por otro elemento, de tipo lógico y didáctico, relacionado con la estructura, la claridad y el orden en la presentación de dicho conocimiento.

**Valoración didáctica:** el concepto designa las reflexiones y evaluaciones que los autores y/o participantes realizan sobre las prácticas que son objeto de estudio considerando la situación de los estudiantes, de los profesores participantes, del conocimiento enseñado y de sus mutuas relaciones dentro de una institución escolar y contexto socio-histórico particular.

---

<sup>31</sup> Utilizamos indistintamente los términos contenidos, conocimientos o saberes para designar el conocimiento escolar desplegado en los dos cursos de Física.

<sup>32</sup> En el CNBA la unidad curricular denominada Teoría Cuántica de sexto año incluye los contenidos: Radiación térmica. Interacción entre la radiación y la materia: efecto fotoeléctrico, efecto Compton, formación de pares. Rayos X: generación y espectros. Modelos atómicos: el átomo de Hidrógeno.



## Distribución de las fuentes consultadas

Hemos ubicado la revisión de la bibliografía en este capítulo II y en el ANEXO. En este capítulo analizamos trabajos que aportan a la problemática de la enseñanza introductoria de la Cuántica en la escuela media (EM) desde una perspectiva pedagógica orientada hacia la *enseñanza* y los *profesores* y en los que aparece explicitada cierta preocupación por la construcción de conocimientos sobre FMyC significativos para los estudiantes. En el cuadro n° 1 DEL ANEXO (Libro II) incluimos un análisis general de trabajos que se refieren a otras dimensiones que denominamos: aprendizaje, interacciones lingüísticas, epistemología y cognición, entre otras. Estos trabajos aportaron criterios significativos para configurar el proyecto de investigación desde una visión amplia. No incluimos en este capítulo ni en el cuadro n° 1 del ANEXO los trabajos cuyas ideas hemos utilizado para construir el marco teórico como tampoco incluimos otros trabajos que fueron de gran utilidad durante la elaboración y desarrollo de la investigación, como por ejemplo, los textos de metodología de la investigación (Bodgan y Taylor, 1987; Goetz y LeCompte, 1988; Wainerman y Sautu, 1998; Stake, 1999; Moreira, 2000; 2002) o las fuentes mencionadas en el capítulo I pero que utilizamos en la realización de trabajos previos (Sutton, 1993; 1997; Canals Frau, 1993; De la Torre, 1995; Eco, 1995; Rivière, 1993, a, b; 1996; Español, 2000, etc.) que si bien se refieren también a la comprensión de la Cuántica encaran otros temas. Tampoco incluimos trabajos referidos a las interacciones C/T/S que fueron mencionados en el capítulo I (Maiztegui et al., 2002; Fernández, I., Gil, D., Vilches, A., Valdés, P., Cachapuz, A., Praia, J. y Salinas, J., 2003; Rotunno y Díaz de Guijarro, 2003; Vior y Wiñar, 2005).

La búsqueda y selección de fuentes bibliográficas sobre enseñanza de FMyC y sobre epistemología, didáctica, psicología o lingüística no fueron exhaustivas, se basaron en nuestras posibilidades de localización, sobre todo de fuentes primarias. La inclusión de las publicaciones en cada categoría obligó a tomar decisiones discrecionales pues los trabajos analizados despliegan enfoques y contenidos que permitirían incluirlos en varias categorías. Los criterios que nos orientaron fueron: utilizar las revisiones bibliográficas sobre enseñanza de la FMyC realizadas por otros autores (Osterman, F. y Moreira M.A., 1999, etc.), considerar fuentes con

accesibilidad gratuita presentes en la WEB, priorizar los estudios empíricos fundamentados teóricamente datados entre 1995 y 2005, y también los libros, revistas y actas de congresos iberoamericanos.

La idea de presentar la revisión de antecedentes a través de un cuadro se basa en un texto de Wainerman y Sautu (1998:56). También hemos considerado las indicaciones de Sautu (2005:88) referidas a las diferencias entre el estado del arte y el marco teórico de una investigación<sup>33</sup>.

En síntesis, en el capítulo II están incluidos trabajos que aportaron criterios e informaciones vigentes en el campo de la investigación en didáctica de las ciencias que pueden caracterizarse como constructivistas en un sentido amplio (asumen que la enseñanza se organiza tratando de capitalizar lo que el alumno ya sabe, tratan de involucrarlo durante su proceso de desarrollo, o enfatizan las relaciones contextuales e históricas del conocimiento). También, como fue mencionado, en estos trabajos hemos rastreado el lugar de la comprensión y de la valoración didáctica. En el capítulo III están los trabajos que configuran el marco teórico y sostienen los objetivos de investigación. En el cuadro n° 1 del ANEXO están aquellas publicaciones que quedaron fuera de la caracterización mencionada, que presentan, explícita o implícitamente, otros abordajes y abarcan aspectos que nuestro estudio no focaliza como la importancia de introducir la FMyC en la EM, la enseñanza en el laboratorio, la utilización de simulaciones, o la enseñanza a partir de la modelización, entre otros.

### **Categorías utilizadas en la organización de las fuentes**

Todas las publicaciones analizadas están organizadas según las siguientes categorías: enseñanza; profesores, formación y desarrollo profesional; contenidos; aprendizaje; epistemología y cognición; interacciones discursivas en el aula; currículo e institución; recursos para la enseñanza e interacciones CTS que caracterizamos como sigue:

---

<sup>33</sup> “Mientras el marco teórico es específico y sostiene los objetivos de investigación, el estado del arte de un área temática o tema discute las líneas de investigación y las tradiciones teóricas vigentes en el momento de su elaboración, y las similitudes y divergencias entre ellos.”, Sautu (2005:88).

**Enseñanza:** En esta categoría incluimos el análisis de propuestas pedagógicas y de intervenciones didácticas en FMyC que focalizan la tarea de un profesor constructivista en sentido amplio.

**Profesores, conocimiento y desarrollo profesional:** revisamos artículos sobre formación (inicial y continua) y sobre conocimiento y desarrollo profesional desde perspectivas psicosociales y contextuales (cultura, trabajo, ciclo de vida, entre otros).

**Contenidos:** incluimos trabajos referidos a la elaboración del conocimiento pedagógico de contenidos de FMyC.

A continuación especificamos las categorías cuyas fuentes están ubicadas en el cuadro n° 1 del ANEXO.

**Aprendizaje:** incluye trabajos sobre representaciones de los alumnos, obstáculos, errores, metacognición, estrategias de facilitación (con y sin contenidos clásicos), entre otros.

**Epistemología y cognición:** incluye trabajos sobre filosofía de la ciencia y educación científica que teorizan sobre procesos colectivos e individuales de conceptualización, modelización y construcción de conocimientos científicos considerando la contextualización y la significación del saber.

**Interacciones discursivas en el aula:** incluye trabajos que aportan elementos para describir las interacciones discursivas entre pares, y entre estudiantes y profesores.

**Currículo e institución:** Aquí figuran trabajos que consideran la inclusión de la FMyC en programas escolares y en diseños curriculares para la escuela media de distintos países y cuestiones centradas en las relaciones grupales en la organización escolar.

**Recursos para la enseñanza:** contiene trabajos sobre la utilización de textos, simulaciones, programas de hipermedia, entre otros; en el marco de propuestas para la enseñanza de temas de FMyC para el nivel medio.

**Interacciones CTS:** Aquí figuran artículos que analizan las relaciones entre ciencia, la tecnología y la sociedad.

## Trabajos sobre enseñanza, profesores, conocimiento y desarrollo profesional

Dentro de la categoría “enseñanza” el primer trabajo que analizamos es el de **Stefanel (1998)** *Una experiencia en el marco de la introducción de la física cuántica en la escuela secundaria..* Esta propuesta es de interés para nuestro trabajo pues presenta ciertas similitudes con el estudio que desarrollamos en el CNBA: este es un estudio sobre la “introducción de la FC en un aula real” y el abordaje en los contenidos de enseñanza es de continuidad histórica. Da importancia al desarrollo conceptual y al interés y la motivación de los alumnos. La propuesta de Stefanel avanza mucho más en el desarrollo de conceptos y principios cuánticos que la desplegada en el CNBA. Si bien ambas propuestas parten de ciertos fenómenos y nodos conceptuales situados alrededor del año 1900 la experiencia desarrollada por Stefanel llega hasta la interpretación probabilística del principio de superposición. Notamos ciertas semejanzas en la organización de la enseñanza y el contexto escolar pues esta experiencia de introducción de tópicos cuánticos se realizó en un “ámbito escolar estándar” con estudiantes de 5° año del Liceo Scientifico Statale “G. Marinelli” de Udine, Italia en situación de aula real, con una cantidad de aproximadamente 20 alumnos, de edad similar a los nuestros en cada año de aplicación y “sufriendo los inevitables límites” que imponen los exámenes, el desarrollo de la FCyM en la última parte del año escolar y la modesta infraestructura experimental a disposición. Analizando las diferencias encontramos que la interacción entre escuela y universidad se pone de manifiesto: la propuesta de Stefanel fue discutida en el marco de la Unidad de Investigación sobre Didáctica de la Física de la Universidad de Udine y recibió contribuciones para desarrollar aplicaciones concretas del conocimiento cuántico como por ejemplo las experiencias de conducción eléctrica en sólidos. Las clases en el CNBA fueron organizadas e implementadas por dos profesores sin ningún soporte externo al departamento de Física, es decir que las clases se llevaron a cabo tal como lo venían haciendo los profesores previamente a este estudio.

Stefanel (ídem) aplicó su propuesta durante tres años con los mismos contenidos pero distintos desarrollos metodológicos siguiendo un itinerario didáctico cuyos contenidos se organizaron en cuatro niveles de intervención (pág. 38):

- 1- Experiencias introductorias y presentación de un cronograma de referencia sobre el nacimiento de la Teoría de los Cuantos (5-6- horas).
- 2- Profundización cuantitativa sobre efecto fotoeléctrico, efecto Compton y el fotón, la experiencia de Franz y Hertz y los modelos atómicos, el principio de incertezas (5-6 horas).
- 3- Principios básicos de la Teoría Cuántica: interpretación probabilística de la función de onda y del principio de superposición (5-7 horas).
- 4- Aplicaciones de los conceptos de FC para explicar las propiedades de la materia (6-8 horas).

**Entre los aspectos metodológicos característicos de esta propuesta interesa rescatar:**

1- Actividades de laboratorio: constituyen la base experimental de la introducción a la TC. Se realizaron y analizaron experiencias que ya conocían los estudiantes tales como análisis de las propiedades de rayos catódicos, medición de la relación carga/masa del electrón, descarga de una lámina de zinc cargada negativamente, difracción e interferencia de la luz (presentada como soporte metodológico para introducir los principios cuánticos). Otras experiencias, como los experimentos sobre efecto Hall y resistividad en sólidos, se desplegaron como aplicaciones de los conceptos cuánticos introductorios.

2- Construcción de los primeros modelos cuantitativos: Partieron de una revisión sintética de la FCI para explicitar los conceptos de causalidad y determinismo involucrados también en los debates de la TC. La introducción a la cuantificación, cuyos aspectos relativos al nacimiento de la TC logró involucrar aún a los estudiantes menos motivados por la Física, incluye (pág. 39): la temática científica de principios del 1900, el problema del cuerpo negro y la hipótesis de los cuantos, la contribución de Einstein sobre el efecto fotoeléctrico y los calores específicos, primeras confirmaciones experimentales a las hipótesis cuánticas, difracción de electrones, fórmulas de De Broglie-Einstein, el análisis de modelos atómicos como “medios de representación” e indagación y comprobación de los límites de validez, el principio de incertidumbre y la interpretación probabilística del principio de superposición.

3- Abordaje fenomenológico con solución de problemas cuantitativos accesibles, como temas de profundización para concientizar a los estudiantes de las evidencias a favor de la cuantificación, como por ejemplo el análisis de la experiencia de Frank y Hertz, entre otros.

4- Valoración del “efectivo grado de comprensión de los estudiantes” acerca de las novedades conceptuales de la cuántica (pág. 40) a partir de la crítica al modelo semiclásico de Bohr y desarrollo de un espacio reflexivo particular sobre las relaciones y el principio de incerteza de Heisenberg a través de experimentos pensados simples y ejercicios con estimación de incertezas y de justificación de hipótesis.

5- Análisis de algunos principios básicos de la FC siguiendo las propuestas de Landau y Lifshitz para el principio de incerteza y la de Dirac para el principio de superposición que permite a los alumnos acceder a una descripción probabilística de los fenómenos e interpretar cualitativamente ciertas aplicaciones.

6- Aplicaciones de los conceptos introductorios de la FC a través de: una redescritión cualitativa del átomo en base a la interpretación probabilística del electrón y del significado de orbital usado en química; reinterpretación de la tabla periódica de elementos; análisis semicuantitativo de la reflexión de ondas sobre una barrera de potencial (efecto túnel); estudio de las propiedades eléctricas de sólidos, entre otros.

7- Participación directa de los alumnos en: trabajos grupales para el desarrollo de temas específicos, trabajos individuales de profundización y mayor espacio a la actividad experimental en el 3° año de aplicación del estudio.

8- El abordaje didáctico sigue distintos niveles mediante un proceso espiralado de refinamientos sucesivos y profundizaciones orientadas a lo cuantitativo. La intervención del docente en las actividades de los estudiantes se orienta a la construcción gradual de conceptos por parte de toda la clase y a delinear en cada caso un esquema interpretativo basado en los principios cuánticos.

Para la evaluación del aprendizaje se usaron exposiciones orales tradicionales, valoración de los contenidos en las discusiones, seminarios y debates en clase. Los resultados que el autor reporta son positivos. El autor concluye, entre otras cuestiones, con indicaciones útiles para desarrollar varios temas cuánticos en la EM como por ejemplo la utilización de la línea histórica sobre el nacimiento de la TC porque ofrece óptimos indicios de actuar como elemento motivacional.

También en esta línea de preocupación por el interés y la motivación de los alumnos, a partir de la contextualización concreta de conceptos físicos, se consiguieron buenos resultados con las aplicaciones de la TC al análisis de las propiedades eléctricas de los semiconductores, las mediciones del coeficiente Hall y la resistividad. Respecto del trabajo en grupos, el autor manifiesta un éxito diverso y condicionado a la capacidad de involucrar y estimular al grupo de alumnos por parte de cada líder.

**Pinto y Zanetic (1999)** en el trabajo *É possível levar a física quântica para o ensino médio?* analizan la posibilidad de introducir la FC en la EM trabajando el conflicto conceptual entre las concepciones espontáneas y las diversas interpretaciones sobre la naturaleza de la luz presentes en la FCI y la FMyC. A partir de las ideas de Bachelard (1972 apud Pinto y Zanetic, 1999), desarrolladas en el libro “Filosofía de la Nada”, donde se niega una visión del mundo para llegar a otra mediante un camino que contiene explicaciones metafísicas desde el animismo, realismo, positivismo, racionalismo, ..., aplican la noción de “perfil epistemológico” al concepto de luz y diseñan un experimento didáctico y un mini curso para alumnos de EM que es analizado por Pinto a través de varios instrumentos como evaluaciones, relatos y producciones culturales de los alumnos. El perfil epistemológico es usado tanto como instrumento de investigación como de recurso didáctico y para que cada alumno se autoevalúe.

Son varios los aportes de este trabajo sobre la intervención didáctica en el área de FMyC como por ejemplo: durante el desarrollo de las actividades de enseñanza se sugiere privilegiar las leyes generales y presentar los conceptos fundamentales con poca matematización, es necesario preparar a los profesores antes de enseñar FMyC. Los autores presuponen que para lograr cierta afinidad con las diferentes vocaciones y aptitudes de los alumnos se deben considerar variados y amplios abordajes como por ejemplo el formalismo matemático, la observación y experimentación, los conceptos, leyes y teorías, la filosofía, historia y epistemología, o la tecnología involucrados pues la enseñanza de la Física ofrecida desde una única perspectiva (sólo formalismos, sólo conceptos, sólo resolución de problemas) corre el riesgo de no establecer un diálogo fecundo con los alumnos.

En este experimento didáctico la enseñanza se desplegó desde un enfoque conceptual, histórico, filosófico y cultural y se realizaron ajustes a partir de las sugerencias y comentarios que los estudiantes presentaban en sus relatos.

También, para enfrentar la variedad de dificultades que se les presentan a los estudiantes de la EM cuando se introducen distintos aspectos de la FC – ya sea el formalismo matemático, o las novedades conceptuales, o el tratamiento experimental de los temas - los autores proponen alternativas tales como: aplicar un abordaje utilizando diferentes interpretaciones del formalismo cuántico permitiendo que el alumno pueda desenvolver su propia interpretación privada (Pessoa Jr., 1997), y utilizar la Historia y la Filosofía de la Ciencia como estrategia de enseñanza rompiendo con la estructura curricular y metodológica de los abordajes tradicionales en la enseñanza de la Física.

El análisis de los relatos desarrollados por los alumnos indican que: existe una variedad de dificultades de lectura por lo cual se hace necesario elaborar textos con lenguaje adecuado a cada realidad; para que el alumno pueda confrontar el conocimiento teórico ligando lo empírico y lo racional sin una supervalorización de una única forma de ver un concepto, es ineludible enfatizar la actividad experimental; debe otorgarse importancia y significado a la descripción matemática en la Física; debe permitirse que cada alumno desarrolle su propia interpretación de la naturaleza de la luz pues esto favorece distintas comprensiones.

En sus conclusiones los autores señalan que: perciben muchas fallas en el instrumento que construyeron, es importante el papel desempeñado por los originales de la historia de la Física durante el diálogo entre diferentes concepciones, la Historia y la Filosofía de la Ciencia además de ilustrar o motivar el estudio en la EM puede facilitar la construcción conceptual y cultural de la Física, la producción de trabajos culturales por parte de los alumnos resultó una forma de rescatar el interés por el estudio de la Física si bien la mayoría de los alumnos aprendió poca FC aseguran que es posible llevar la FC a la enseñanza media.

Para nuestro trabajo rescatamos el aporte desde el enfoque histórico filosófico con que se encaran las cuestiones de enseñanza de la TC y la preocupación por concitar el interés de los estudiantes.



Otro trabajo que aporta elementos para nuestra investigación por el enfoque conceptual basado en la filosofía de Bachelard y en el “aprendizaje significativo crítico” de Moreira y por la importancia dada a la discusión epistemológica de los conceptos fundamentales de la cuántica durante la enseñanza, es el de **Paulo y Moreira (2004)** y se denomina “*Abordando conceitos fundamentais da mecânica quântica no nível médio*”. Son dos experiencias de enseñanza realizadas en dos escuelas privadas de Cuiabá, Brasil donde participaron cerca de 100 estudiantes a los que se les suministraron contenidos sobre los conceptos fundamentales de MC desde la interpretación de Copenhague (complementariedad y no determinismo). Los autores indagaron de qué manera ocurre la construcción de algunos conceptos cuánticos como complementariedad, probabilidad, dualidad, e incerteza en la mente de los estudiantes de escuela media. Mientras que en una escuela esto ocurrió luego de la enseñanza del tema ondulatoria desde la perspectiva clásica (fenómenos de difracción, interferencia, construcción histórica de los modelos sobre la naturaleza de la luz, espectro electromagnético) en la otra sucedió antes. Se evaluó el aprendizaje de los alumnos mediante pruebas escritas con preguntas objetivas y preguntas abiertas. Los datos obtenidos se interpretaron mediante análisis fenomenográfico. Los resultados indican que los estudiantes no tuvieron dificultades en aprender los conceptos cuánticos abordados mayores que las que tienen con los conceptos clásicos. Se identificaron también algunas concepciones con relación a los conceptos de complementariedad y no determinismo que pueden aportar datos acerca de cómo los alumnos construyen un aprendizaje potencialmente significativo sobre los conceptos fundamentales de la MC.

Otro aspecto que aporta a nuestra investigación es de tipo metodológico y se refiere al modo de presentación de los antecedentes sobre la FMyC. Paulo et al. (2004) se basan en las revisiones bibliográficas realizadas por Ostermann y Moreira (2000) y de Greca y Moreira (2001) para educación media y superior y las amplían clasificando los antecedentes según las siguientes categorías: 1-artículos sobre concepciones de los estudiantes; 2-trabajos con críticas a los cursos introductorios; 3-estudios con propuestas de nuevas estrategias didácticas donde destacan que los trabajos publicados a partir de los '90 en FMyC mantienen una tendencia de no uniformidad de posturas y propuestas incluyendo además una sub-clasificación de los dos primeros autores mencionados para las propuestas en el área para la EM referida a: 3a) exploración de los límites

de los modelos clásicos (como por ejemplo el trabajo de Gil y Solbes, 1988); 3b) sin referencia a los modelos clásicos (como el de Fischler e Lichtfeldt, 1992); 3c) selección de tópicos esenciales (Arons, 1990): 4- estudios sobre aspectos histórico-filosóficos y 5- estudios sobre aspectos experimentales.

Observamos cómo Paulo y Moreira (2004) desarrollan el propio trabajo partiendo y valorizando explícitamente otros estudios. Resaltamos este aspecto pues permite observar otra faceta de la construcción social de la ciencia. Asumen un abordaje de la FMyC más conceptual que formal y rescatan de otros estudios ideas para su investigación tales como: que el aprendizaje de conceptos de FMyC ocurre sin dificultades para los estudiantes si los conceptos son significativos para su vida cotidiana o que las mayores dificultades serían de carácter filosófico porque no existe consenso en la literatura sobre cual es la base filosófica de la MC que debería ser presentada en la enseñanza media. La primera autora de este estudio y profesora de los cursos donde se desarrollaron los experimentos didácticos enfatizó cuestiones epistemológicas tales como que la ciencia está constituida por modelos, reflexionó con los estudiantes sobre las limitaciones de los instrumentos y sobre la filosofía cartesiana sobre la cual se estableció la ciencia hasta el siglo XIX. Las similitudes en los resultados de aprendizaje de ambos grupos permitieron a los autores formular la hipótesis de que “la FCI tal vez no constituya un obstáculo epistemológico para el aprendizaje de la FC”. También señalan una idea, no desarrollada en este trabajo, acerca de que enseñar Cuántica y otros temas de Física parece inviable si no se establecen vínculos con aspectos cotidianos.

La cuestión de considerar la vinculación de los conceptos científicos con aspectos cotidianos durante la enseñanza de la Física es un cuestión importante a considerar en el estudio de la comprensión porque orienta la reflexión sobre el proceso de significación en sus dos facetas: una más objetiva, social, comunal o **denotativa** y otra más personal, interna, subjetiva o **connotativa** (Moreira, 2000) como plantearemos en el marco teórico. El trabajo que analizamos a continuación plantea alguna de estas cuestiones con cierto detalle.

**Barbosa y Pacca (2007)** en “A mecânica quântica no ensino médio: como ser construtivista” presentan una propuesta teórica muy importante para nuestro estudio porque convoca a releer las

ideas filosóficas de Bachelard y promueve la reflexión sobre el proceso de construcción de significados durante la enseñanza de temas de FMyC mediante ejemplos concretos acerca de cómo debe contextualizarse el conocimiento cuántico a ser enseñado desde una óptica constructivista. Los autores luego de presentar una breve discusión del papel de la TC en la cultura actual, dar razones para su inserción en varios niveles de enseñanza y discutir algunas propuestas encontradas en la literatura presentan, explican y justifican teóricamente una propuesta de enseñanza constructivista a partir de una propuesta didáctica basada en la epistemología de Bachelard y Piaget y contextualizada en fenómenos de la vida cotidiana. Barbosa y Pacca (ídem) consideran que se deben trabajar tres conceptos como pilares de la TC: dualidad onda-partícula, cuantización de la energía y la relación determinismo-indeterminismo. Proponen el estudio de fenómenos microscópicos relacionados con la vida cotidiana del alumno (ej. horno de microondas) como la mejor forma de introducirlos en el tema pues, explican, los fundamentos cuánticos se clarifican cuando se localiza su necesidad en fenómenos presentes y con significado para el educando. Muestran y discuten cómo debe llevarse a cabo esto descartando el camino del conflicto histórico entre FCl y FC y también el de la reconstrucción lógica presentes en muchas propuestas, por ser inadecuados. Si consideran, en cambio, utilizar el papel de la negación, de la resignificación del conocimiento y del error propuesto por Bachelard. Es decir, adoptan la idea de considerar el “conocimiento como la transformación de una ilusión” pues conocemos “contra” un conocimiento anterior y rectificando lo que se consideraba sabido y sedimentado. La desilusión o negación tiene el sentido de reordenar y de establecer los límites del conocimiento negado y la validez del nuevo. La “filosofía de la negación” de Bachelard debe entenderse como una actitud de conciliación que permite definir el campo de validez y aplicación de una teoría (Ej: la visión de tiempo y de espacio de la Mecánica Clásica puede ser un obstáculo epistemológico y debe reconsiderarse al construir la visión de tiempo y de espacio en la Mecánica Relativista). El planteo didáctico de Barbosa y Pacca se centra en el conocimiento y la ruptura con el conocimiento previo de los estudiantes sea éste un conocimiento cotidiano o un conocimiento clásico obtenido en las clases de Física habituales. Del constructivismo educacional de Piaget, según el análisis de Aguiar y Saraiva (1999, apud Barbosa et al., 2007), Barbosa y Pacca destacan por un lado la importancia del compromiso activo del estudiante y por otro que la

enseñanza siempre debe capitalizar lo que los estudiantes ya saben y orientar sus dificultades de comprensión de los conceptos científicos considerando su visión del mundo. También, desde la lógica piagetiana, sugieren un planeamiento didáctico basado en *la tensión entre continuidades* (lo sabido) y rupturas (la negación de la creencias y de lo consolidado) y en *cierta recursividad* o sea que las nociones deben ser revisitadas en diferentes contextos y aprendidas en diferentes niveles de comprensión. Este movimiento puede percibirse por un ciclo dialéctico que denominan “Intra, Inter y Trans” que permite entender y planear la evolución de los conceptos. Así el nivel Intra permite describir los observables o una tentativa de explicar el modo de ser de los fenómenos, el Inter permite al sujeto configurar el funcionamiento de un sistema mediante relaciones y transformaciones de los esquemas construidos en el nivel Intra. En el nivel Trans el sujeto subsume las relaciones establecidas a una estructura total que las engloba y justifica o arma una teoría que permite explicar el sistema desarrollando una comprensión más articulada. Cada nivel de la tríada involucra una pregunta que para el primero es: “¿qué es eso?” para el segundo es “¿cómo funciona eso?” y para el tercero “¿cómo se explica?”. Mencionan tres abordajes en la enseñanza de la MC: basado en formalismos, centrado en conceptos, y combinando formalismo y conceptos. En este último abordaje, que consideramos bastante similar al desarrollado en las clases del CNBA, se trabaja el formalismo matemático que permite la resolución de problemas y la fundamentación conceptual que provee significación a la teoría al permitir interpretar las operaciones y los resultados. Los autores observan que cuando se acerca la TC a los no especialistas, como son los estudiantes de la EM, la ausencia de conocimientos matemáticos condiciona a realizar sólo un desarrollo conceptual y el objetivo mayor no es la resolución de problemas sino la comprensión de los nuevos significados que trae la MC y la nueva visión del mundo que la misma proporciona. Luego de retomar parte del estado del arte según la revisión de Greca y Moreira (2001) y de Paulo y Moreira (2005) observan que todas las propuestas didácticas de introducción de la TC para no especialistas presentan un abordaje conceptual pero en la preparación de los conceptos a ser enseñados se toman como base fenómenos que carecen de significado para los estudiantes. Este tipo de planteos enfoca una cuestión central para nuestro estudio sobre la comprensión de la Cuántica en la EM y que los autores enuncian mediante cuestionamientos como los siguientes: ¿cuán significativo puede ser el aprendizaje de conceptos

cuánticos si éstos no responden a ninguna cuestión o deseo del estudiante? Finalmente los autores proponen la elaboración de “una unidad constructivista” para introducir los tres conceptos cuánticos que consideran fundamentales (dualidad, cuantización y no-determinismo), basándose en argumentos tomados de la literatura, en la visión bachelardiana y en experiencias didácticas previas del primer autor de este trabajo consistente en:

1- Analizar algunos fenómenos cotidianos presentes en la vida de los alumnos potencialmente motivadores que puedan cuestionar sus conocimientos previos y que estén atravesados por conceptos cuánticos como por ejemplo la radioterapia, el horno de microondas, los colores de letreros luminosos, etc.

2- Planificar las clases de manera tal que su secuencia permita la reaparición de conceptos vistos en clases previas para reelaborar sus significados y presentarlos en otros contextos.

3- Trabajar con los estudiantes no sólo los textos escritos sino además imágenes, películas, narraciones y otros tipos de lenguajes que orienten la búsqueda de nuevas informaciones para enriquecer las percepciones de conceptos y la búsqueda de relaciones con otras áreas de conocimiento.

Los autores afirman que el mejor camino para alcanzar buenos resultados cuando se aplica una unidad conceptual de MC es cuando los contenidos están contextualizados y el abordaje se orienta a la confrontación de los conocimientos previos. Consideran, además, que la evaluación es un proceso crucial que parte de la verificación de las concepciones previas sobre el fenómeno en cuestión, luego actúa como guía para la reestructuración del trabajo en clase y como un amplio sondeo, durante el desarrollo cotidiano del feed-back entre profesor y alumnos mediante diversas herramientas. En cuanto al formato de las actividades los autores resaltan la problematización de cada ítem desde la perspectiva de los estudiantes. Finalmente presentan un ejemplo que es un examen comparativo entre los circuitos utilizados para el funcionamiento de lámparas frías y lámparas incandescentes de uso habitual como motivador de análisis por parte de los estudiantes. Especulan que el marco de no funcionamiento del circuito de la lámpara incandescente con la fría debería impulsar a los alumnos primero a hipotetizar y luego a verificar la aplicación del concepto de cuantización mediante las respuestas a preguntas formuladas por el profesor o mediante los relatos que los estudiantes desarrollen sobre la clase (relatorios). Mientras que si

realizaran la aplicación del concepto de cuantización a situaciones diferentes a la tratada permitiría realizar una evaluación del nivel de construcción alcanzado por los alumnos.

Consideramos que la indagación sobre la enseñanza y la intervención didáctica en el marco de las prácticas docentes habituales de enseñanza de la FMyC está relacionada con la posibilidad de conocer a los profesores participantes. Es decir, es necesario saber cómo organizan, desarrollan y evalúan sus clases, qué reflexionan sobre la ciencia, la escuela, su trabajo, su formación y el desarrollo profesional. Esta cuestión demanda seleccionar fuentes bibliográficas referidas tanto al conocimiento profesional (acciones y pensamiento de los profesores sobre la educación en ciencias) como a su desarrollo profesional considerando cuestiones psicosociales y contextuales (cultura, formación, trabajo y también los modos de reflexionar sobre dichas cuestiones).

En la categoría “profesores, conocimiento y desarrollo profesional” los primeros trabajos que hemos analizado fueron producidos por el grupo dirigido por D. Gil y C. Furió de la Universidad de Valencia. Este grupo trabaja desde hace más de dos décadas en el tema conocimiento profesional de los profesores y ha producido diversos trabajos y síntesis de las aportaciones en el área, como el artículo de **D. Gil Pérez (1991)** denominado “¿Qué hemos de saber y saber hacer los profesores de ciencias?”<sup>34</sup>. En este trabajo se plantea “¿cuáles son los conocimientos que los docentes necesitamos adquirir?” y, como resultado de una investigación donde se les formuló esta pregunta a profesores individuales y a equipos de profesores, en el contexto de un trabajo de formación, el autor manifiesta que a diferencia de lo que sucedía con las respuestas de los profesores aislados, la producción colectiva de los grupos “recoge un buen número de los conocimientos que la investigación ha señalado como necesarios” para el profesorado de ciencias. D. Gil y su equipo organizaron las respuestas como un conjunto de saberes y destrezas a ser desarrolladas por colectivos de profesores en ocho capítulos denominados: 1. Conocer la materia a enseñar. 2. Conocer y cuestionar el pensamiento docente espontáneo. 3. Adquirir conocimientos teóricos sobre el aprendizaje y el aprendizaje de las ciencias. 4. Crítica fundamentada de la enseñanza habitual. 5. Saber preparar actividades. 6. Saber dirigir la actividad de los alumnos. 7. Saber evaluar. 8. Utilizar la investigación y la innovación.

---

<sup>34</sup> D. GIL PÉREZ (1991) ¿Qué hemos de saber y saber hacer los profesores de ciencias? Ens. de las Ciencias, Vol. 9 (1).

En las conclusiones del trabajo que el autor titula “La formación docente y la actividad docente como cambio didáctico” plantea la necesidad de realizar trabajos de reflexión colectiva y “descondicionada” para modificar la “docencia de sentido común” e hipotetiza que: 1) las deficiencias en la formación inicial son obstáculos superables si son abordados y resueltos por equipos docentes en procesos críticos y creativos satisfactorios, y 2) no es conveniente transmitir propuestas didácticas acabadas para favorecer en los profesores procesos críticos sobre sus concepciones que les permitan modificar perspectivas y ampliar recursos.

En el marco teórico retomaremos algunas cuestiones de este artículo porque a pesar de los años que pasaron desde su publicación tienen aún gran vigencia para el análisis de la práctica docente en ciencias. Las conclusiones del trabajo de Gil y de otros realizados por el grupo de la Universidad de Valencia, como el de **Furió Mas (1994)** coinciden en la complejidad de la tarea de enseñar ciencias y en la constitución de una “nueva imagen del rol de profesor” que *“además de poseer un conocimiento específico de la disciplina y un conocimiento de didáctica efectiva, los enseñantes deben disponer de tiempo para debatir ideas con sus colegas, participar en el desarrollo profesional e investigar sobre la enseñanza y aprendizaje.”* (Ídem, p. 196).

En esta misma línea puede ubicarse el trabajo de **Porlán y Martín del Pozo (2002)** expuesto en el artículo “La formación del profesorado en un contexto constructivista”. En el mismo se presenta el desarrollo de un amplio proyecto de investigación que tiene por finalidad *“promover un conocimiento más riguroso acerca del conocimiento profesional de los profesores, y de los modelos formativos que favorecen su evolución”*. Se explicitan las razones por las cuales los profesores son resistentes a los cambios e innovaciones tales como que: no son considerados como sujetos activos, creativos y responsables y ellos mismos no se conciben como profesionales capaces de tomar decisiones; han desarrollado concepciones muy estables sobre la enseñanza y el aprendizaje acordes con las tradiciones curriculares y las características del contexto donde trabajan; tienen dificultades para revisar críticamente su actividad porque la formación, tanto la inicial como la permanente, no promueve un conocimiento integrador de los conocimientos teóricos y prácticos basados en análisis críticos y teóricamente fundamentados de la propia experiencia, y las condiciones laborales se mantienen inalterables a lo largo del tiempo (puesto de

trabajo y otros aspectos laborales, organizativos y administrativos). Dado que el cambio del profesorado es una de las variables determinantes de la innovación escolar, los autores consideran necesario conocer y actuar tanto sobre los factores externos y contextuales (administrativos e institucionales dependientes de criterios ideológicos, políticos y sociales) como sobre los factores internos (pensamiento y acción de los profesores) relacionados con su conocimiento profesional pues ambos se influyen y refuerzan mutuamente. Al respecto afirman que *“no habrá cambio generalizado del profesorado si no cambian sus condiciones de trabajo e, igualmente, el cambio de dichas condiciones no garantiza, por sí sólo, una evolución innovadora en las prácticas profesionales”* (p. 271).

A partir de una revisión de trabajos realizados en la década del '90 los autores hacen la siguiente **caracterización del conocimiento profesional**: 1) los profesores tienen una visión tácita y absolutista del conocimiento desde la cual la principal referencia al contenido escolar es el conocimiento disciplinar y éste, además, es visto como un conjunto de verdades inmutables, 2) la enseñanza es considerada como un proceso de transmisión directa de los contenidos, 3) el aprendizaje es el resultado de un proceso mecánico de incorporación en la mente de los alumnos de dichos contenidos. En la literatura, este tipo de mirada se denomina “pensamiento docente de sentido común” generado durante la etapa de estudiante y coincidente con la visión social generalizada sobre la enseñanza y el aprendizaje escolar; 4) la formación inicial superpone creencias ya interiorizadas con un conocimiento disciplinar academicista, fragmentado y descontextualizado que no permite construir un conocimiento profesionalizado y crítico pues no provoca las rupturas epistemológicas y didácticas necesarias; 5) estas visiones están en contradicción con los avances de la nueva filosofía y epistemología de las disciplinas, de la psicología del aprendizaje y de la investigación en didácticas específicas. Los autores sostienen que se puede favorecer el desarrollo profesional de los profesores y pueden surgir modelos de enseñanza-aprendizaje más conscientes, complejos y capaces de sustentar prácticas innovadoras y profesionalizadas cuando se despliegan modelos formativos que los estimulan a cuestionar sus concepciones y sus prácticas en relación con los principales problemas curriculares que se les presentan (qué enseñar y para qué, qué actividades desplegar, cómo valorar la evolución de la



clase y del aprendizaje de los alumnos, etc.), y también cuando se estimula y orienta el diseño de cambios controlados en las aulas y su posterior reconstrucción crítica.

Preocupados por los aspectos de orden psicosociológico en el desarrollo profesional de los profesores de ciencias hemos analizado trabajos como los de **Goodson (2003)** y **Bolivar Botía et al. (2004)**. Si bien en el marco teórico retomaremos algunos aspectos de estos trabajos pues configuran parte de nuestros objetivos de investigación, consideramos importante incluirlos en este capítulo pues su presencia revela la perspectiva con que encaramos el estudio de la intervención didáctica y del desarrollo profesional de los profesores en el marco de las clases comprensivas de Cuántica en la EM. También estos trabajos proveen de criterios e instrumentos narrativos, colaborativos y biográficos para conocer la cultura, la identidad profesional y ciertos factores que se relacionan con la conocida resistencia a los cambios con que se suele caracterizar a los profesores de EM.

El trabajo “Hacia un desarrollo de las historias personales y profesionales de los docentes” de **Goodson (2003)** se basa en varias investigaciones realizadas previamente por dicho autor y colegas. Partiendo de principios tales como: “Si trabajamos con algo tan personal como la enseñanza, es de vital importancia conocer que tipo de persona es el docente” Goodson (1981, apud Goodson, 2003: 735) y utilizando instrumentos tales como historias de vida, estudios biográficos y biografías colaborativas indaga sobre el conocimiento profesional y el micro – político de los profesores de EM considerando factores sociales y políticos, históricos y contextuales. Para nuestro trabajo interesa considerar ciertos ejes conceptuales propuestos por Goodson (ídem) pues permite desarrollar, como dice el autor, cierta “capacidad de entendimiento longitudinal sobre cómo la práctica de los docentes” se construye en relación a la época en que se formó y aportando, además, conocimientos históricos y socio-políticos característicos de la educación científica en las últimas décadas. Dichos ejes se refieren a: las experiencias de vida y los antecedentes de los profesores, orígenes étnicos, estilo de vida (fuera y dentro de la escuela), década de formación (ej.: los años '60, los '70, los '80 generan características diferentes), ciclo de vida y decisiones profesionales (ej.: cómo los docentes construyen y perciben su carrera y desarrollo profesional en cada etapa), acontecimientos críticos de la vida del docente

(particularmente los que afectan su percepción de la práctica), cuestiones de estrés y de desgaste, cambios planteados por las iniciativas de corte empresarial, la historia de vida personal y profesional, relación entre creencias, misión personal y reforma.

El trabajo de **Bolivar Botía, A.; Fernández Cruz, M. Y Molina Ruiz (2004)** “Investigar la identidad profesional del profesorado: una triangulación secuencial” estudia la crisis de identidad profesional en el profesorado de EM de España a partir de un tipo de investigación cualitativa, biográfica y narrativa. La investigación está motivada en la reestructuración del trabajo docente debido a la reforma educativa de los noventa y busca describir las vivencias y comprender las causas que generan crisis de identidad en los profesores así como los efectos que dicha crisis está teniendo en su ejercicio profesional. Los autores parten de una hipótesis que especula que: “...*la resistencia manifestada por el profesorado a los cambios educativos y sociales no proviene de un conservadurismo injustificado sino que es expresión de un modo de salvaguardar la propia identidad profesional, que el profesorado percibe como seriamente amenazada...*”, (p. 1). Metodológicamente los autores consideran que para comprender el mundo y la vida del profesorado es necesario adoptar un enfoque hermenéutico donde la autointerpretación expresada en el relato de los sujetos permite reconstruir una fenomenología de cómo los procesos de cambio educativo y social son vividos y sentidos por cada profesor como actor principal. La identidad profesional se construye por procesos de socialización en espacios de interacción donde la imagen de sí mismo se va configurando por el reconocimiento del otro. Según Dubar (2000, apud Bolivar Botía et al., 2004) la identidad profesional es "el resultado a la vez estable y provisional, individual y colectivo, subjetivo y objetivo, biográfico y estructural, de los diversos procesos de socialización que conjuntamente construyen los individuos y definen las instituciones" (s/n). Entre otros instrumentos, aplican diacrónicamente ciclos de 3 y 4 entrevistas biográficas a profesores seleccionados, realizan un análisis transversal mediante una “guía de protocolo” que luego desarrollan también en grupos de discusión. Las dimensiones que analizan como componentes de la identidad profesional del profesorado son: autoimagen, reconocimiento social, grado de satisfacción, relaciones sociales en el centro o departamento, actitud ante el

cambio, expectativas de futuro en la profesión y, además, trayectoria de vida, historia profesional, formación recibida, crisis de identidad.

Entre otras cuestiones los autores concluyen que, según los profesores: el modelo clásico de enseñanza y de ejercicio de la profesión es caduco y no hay otro alternativo; la reestructuración de la escuela secundaria les demanda una reestructuración de la propia identidad profesional pues el modelo universitario que antes se trasladaba al bachillerato y que configuraba la identidad profesional de los docentes, en especial de los de más años de experiencia, se encuentra muy alejado de las nuevas demandas de ejercicio profesional y del nuevo alumnado; la crisis de identidad profesional los lleva a redefinir estrategias en la profesión tales como: presentar resistencias, buscar una segunda ocupación, desarrollar comportamiento esquizoides, sentirse desmoralizados, insatisfechos o quemados (burnout).

Continuando con el análisis de trabajos que encaran aspectos psicosociales del desarrollo profesional, como el cuestionamiento de las propias concepciones que los profesores construyen a partir de la formación y de las prácticas cotidianas, en los últimos años hay investigadores del área de la didáctica de las ciencias que han necesitado ampliar criterios y dimensiones de análisis desarrollados por la didáctica utilizando conceptos y teorizaciones provenientes del paradigma psicoanalítico y recuperando para el área de investigación sobre el profesor dimensiones poco desarrolladas en la didáctica de las ciencias, como las planteadas en el trabajo de Blanchard Laville que, sin constituirse en elementos de nuestro marco teórico, aportan pistas para comprender algunas situaciones que involucran a los profesores observados.

**C. Blanchard Laville (1996)** es profesora de matemática especializada en enfoques psicoanalíticos y clínicos, trabaja en formación docente e investigación de la práctica docente mediante dispositivos clínicos en la Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad Paris X. En el prólogo de “Saber y relación pedagógica. Un enfoque clínico”, libro sobre un curso desarrollado por B. Laville en la carrera Formación de Formadores de la UBA, A. M. Fernández plantea, entre otras cuestiones, que en Argentina las organizaciones educativas han perdido su capacidad para ofrecer continencia a los docentes. Además, la habitual falta de trabajo reflexivo sobre la formación y actualización profesional y la no incorporación en el análisis de las

dimensiones latentes aumentan la indefensión del formador comprometiendo intrínsecamente sus desempeños. Fernández comenta que las escuelas y tampoco los profesores suelen considerar que su actividad, aunque sea del área de las ciencias experimentales, se desarrolla en el plano psicosocial, que está expuesto a diversidad de tensiones que reclaman controlarse mediante el autoconocimiento de la propia trayectoria de formación, de la relación establecida con el saber que se enseña y del modo en que las vicisitudes de la propia infancia y adolescencia perduran en la adultez. Así, la formación debiese desarrollar ese autoconocimiento como base para reflexionar y luego poder operar sobre los contenidos y técnicas de enseñanza. Blanchard Laville en el seminario relatado en el libro propone trabajar el análisis clínico de la relación del profesor con el saber que enseña a partir de los puntos oscuros de la dinámica de la clase que lo desconciertan, como por ejemplo la persistencia del no entendimiento en el alumno, mediante el modelo propuesto por Bion. También, propone analizar algunas constantes en la relación pedagógica como la exposición de sí a la mirada de los otros o el impacto inevitable de los fenómenos de desilusión, desde conceptos habitualmente ausentes de las referencias teóricas de la didáctica como: transferencia didáctica, sufrimiento psíquico profesional, distancia necesaria, seducción atemperada, entre otros de gran potencial reflexivo. Considera que la reflexión sobre sí es una obligación ética porque aporta conocimiento sobre sí mismo y la relación pedagógica establecida facilitando al profesor el autocontrol conciente de los aspectos psíquicos y ayudándolo a desarrollar autonomía, sentido a su tarea profesional y un espacio profesional más despejado de conflictos personales. La autora, que durante mucho tiempo se interesó por la teoría didáctica en el área Matemática, considera que en esta disciplina actualmente no hay lugar para los fenómenos de orden inconsciente y que las dificultades de integración entre disciplinas surgen porque la teoría didáctica se construyó con una base epistemológica sistémica y experimental (ej.: se fabrican situaciones para experimentar controlando variables y viendo sus efectos sobre otras) y en el enfoque clínico esto no es posible porque el inconsciente no es una variable para manipular y no se puede observar pero impregna todas las situaciones. Plantea cuatro dimensiones básicas del enfoque clínico que son:

1- Reconocimiento de la existencia de fenómenos inconscientes (fenómenos que actúan fuertemente y con una lógica propia y cuyo reconocimiento requiere de un dispositivo que pasa

por la palabra y la presencia de alguien que, por no estar implicado en la situación, puede ayudar a su identificación).

2- Tipo de relación entre investigador y sujeto, o sujetos, o grupo. Contrariamente a la situación experimental el investigador esta implicado en la situación, también él es un sujeto con un inconsciente por lo cual la relación forma parte de la investigación.

3- Carácter irrepetible de los hechos que se estudian.

4- El “disfuncionamiento” interesa particularmente al investigador como vía de acceso a las estructuras de lo real.

### Síntesis de las fuentes consultadas

Si bien los trabajos que analizamos en este capítulo y que hemos agrupado en dos categorías “Trabajos sobre enseñanza/intervención didáctica en el área de la FMyC” y “Trabajos sobre profesores, conocimiento y desarrollo profesional” enfocan temas muy diferentes hemos tratado de resumir en el siguiente cuadro los principales aportes que cada autor realiza desde su investigación a nuestro trabajo:

**Cuadro n° 1: Síntesis de los principales aportes de los artículos analizados**

Trabajos sobre enseñanza /intervención didáctica en FMyC			
Autor y artículo	Aportes	Lugar de la comprensión	Valoración didáctica
<b>Stefanel (1998)</b> “Una experiencia en el marco de la introducción de la física cuántica en la escuela secundaria”	De este trabajo nos interesa rescatar que: 1) En las actividades de laboratorio se partió de experiencias que ya conocían los estudiantes (rayos catódicos, relación carga/ masa del electrón, descarga de una lámina de zinc cargada negativamente, difracción e interferencia de la luz). 2) Para la construcción de los primeros modelos cuantitativos se partió de una revisión histórica de la FCI hasta la interpretación probabilística del principio de superposición. Se involucraron hasta a los estudiantes menos motivados por la Física. 3) Se abordaron aspectos fenomenológicos mediante solución de problemas cuantitativos accesibles desarrollados como temas de profundización. 4) Se valoró el grado de comprensión conceptual de la	El autor muestra preocupación por desarrollar el interés y la motivación de los alumnos a partir de la contextualización de conceptos físicos y la implementación intencional de aplicaciones de la TC en situaciones experimentales.	El autor de la investigación analiza y estima detalladamente su intervención didáctica y las actividades de sus estudiantes.

	<p>cuántica de los estudiantes a través de experimentos pensados y ejercicios de incertezas y justificación de hipótesis. 5) Se analizaron los principios de incerteza y superposición para acceder a una descripción probabilística de fenómenos e interpretar cualitativamente ciertas aplicaciones. 7) Los alumnos participaron en trabajos grupales, individuales y actividades experimentales. 8) Didácticamente se siguió un proceso espiralado de refinamientos sucesivos y profundizaciones cuantitativas. La intervención docente se orientó a la construcción de conceptos de toda la clase y a delinear un esquema interpretativo basado en principios cuánticos. Los resultados fueron positivos y aportan indicaciones para desarrollar temas cuánticos en la EM (utilización de la línea histórica sobre el nacimiento de la TC).</p>		
<p><b>Pinto y Zanetic (1999)</b> “É possível levar a física quântica para o ensino médio?”</p>	<p>Son varios los aportes de este trabajo sobre la intervención didáctica en el área de FMyC como por ejemplo: durante el desarrollo de las actividades de enseñanza se sugiere privilegiar las leyes generales y presentar los conceptos fundamentales con poca matematización, es necesario preparar a los profesores antes de enseñar FMyC. Los autores presuponen que para lograr cierta afinidad con las diferentes vocaciones y aptitudes de los alumnos se deben considerar variados y amplios abordajes como por ejemplo el formalismo matemático, la observación y experimentación, los conceptos, leyes y teorías, la filosofía, historia y epistemología, o la tecnología involucrados pues la enseñanza de la Física ofrecida desde una única perspectiva (sólo formalismos, sólo conceptos, sólo resolución de problemas) corre el riesgo de no establecer un diálogo fecundo con los alumnos.</p>	<p>Los autores otorgan importancia al desarrollo de la comprensión cuando: ajustan la enseñanza a partir de las sugerencias que hacen los estudiantes, permiten que el alumno desenvuelva su propia interpretación privada del formalismo cuántico, utilizan la Historia y la Filosofía de la Ciencia como estrategia de enseñanza o alientan la producción de trabajos culturales por parte de los alumnos como forma de rescatar el interés por el estudio de la Física.</p>	<p>Los autores analizan críticamente el experimento didáctico señalando sus fallas y bondades tales como el papel desempeñado por los originales de la historia de la Física y la producción de trabajos culturales por parte de los alumnos.</p>
<p><b>Paulo y Moreira (2004)</b> “Abordando conceitos fundamentais da mecânica quântica no nível médio”.</p>	<p>Los autores indagan cómo ocurre la construcción de conceptos cuánticos tales como complementariedad, probabilidad, dualidad, e incerteza en dos grupos de estudiantes de EM cuando la enseñanza, de tipo más conceptual que formal, incluye en un caso temas de ondulatoria clásica (fenómenos de difracción, interferencia, construcción histórica de los modelos sobre la naturaleza de la luz, espectro electromagnético) y en otro no. Las similitudes en los resultados de aprendizaje de ambos grupos permitieron</p>	<p>El trabajo se orienta al proceso de aprendizaje y no al de comprensión aunque se usan términos como “comprensión” y “aspectos cotidianos” durante la enseñanza de la Física no están desarrollados.</p>	<p>La intervención didáctica se valora sólo en función del tipo de aprendizaje logrado en cada grupo</p>

	<p>a los autores formular la hipótesis de que <i>“la FCl tal vez no constituya un obstáculo epistemológico para el aprendizaje de la FC”</i>. También señalan que enseñar Cuántica y otros temas de Física parece inviable si no se establecen vínculos con aspectos cotidianos.</p> <p>Otro aporte, de tipo metodológico, y se refiere al modo en que los autores se basan en las revisiones bibliográficas sobre enseñanza media y superior de la FMyC realizadas por otros investigadores rescatando de otros estudios ideas para su investigación tales como: que el aprendizaje de conceptos de FMyC ocurre sin dificultades si los conceptos son significativos para la vida cotidiana de los estudiantes o que las mayores dificultades serían de carácter filosófico. La enseñanza enfatizó cuestiones epistemológicas tales como la importancia de los modelos, las limitaciones de los instrumentos y de la filosofía cartesiana sobre la cual se estableció la ciencia hasta el siglo XIX.</p>		
<p><b>Barbosa y Pacca (2007)</b> “A mecânica quântica no ensino médio: como ser construtivista”</p>	<p>Este trabajo ofrece aportes muy importantes pues promueve la reflexión sobre la construcción de significados durante la enseñanza de temas de FMyC mediante ejemplos concretos. Los autores proponen la elaboración de “una unidad constructivista” para introducir los conceptos cuánticos de dualidad, cuantización y no-determinismo consistente en:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1- Analizar algunos fenómenos cotidianos presentes en la vida de los alumnos potencialmente motivadores y que puedan cuestionar sus conocimientos previos (radioterapia, horno de microondas, etc.).</li> <li>2- Planificar las clases de manera tal que su secuencia permita la reaparición de conceptos vistos en clases previas para reelaborar sus significados y presentarlos en otros contextos.</li> <li>3- Trabajar no sólo los textos escritos sino además imágenes, películas, narraciones y otros tipos de lenguajes para enriquecer las percepciones de conceptos mediante la búsqueda de relaciones con otras áreas de conocimiento.</li> </ol> <p>Los autores afirman que: a) el mejor camino para alcanzar buenos resultados es cuando los contenidos están contextualizados y el abordaje se orienta a la confrontación de los conocimientos previos; b) la evaluación es un proceso crucial; c) en el formato de las actividades se resalta la problematización de cada ítem desde la perspectiva de los estudiantes. Finalmente se presenta un ejemplo concreto que operacionaliza todas las sugerencias.</p>	<p>En esta propuesta se plantean cuestiones para desarrollar la comprensión de la FMyC en la EM aunque está implícita una definición de dicho proceso.</p>	<p>No hay una valoración didáctica en los términos que la hemos planteado porque el artículo es una propuesta didáctica teórica si bien se basa en experiencias prácticas previas de uno de los autores.</p>

<b>Trabajos sobre profesores, conocimiento y desarrollo profesional</b>	
<b>Autor y artículo</b>	<b>Aportes</b>
<b>D. Gil Pérez (1991)</b> “¿Qué hemos de saber y saber hacer los profesores de ciencias?”	Como resultado de una investigación donde se formuló la pregunta: “¿cuáles son los conocimientos que los docentes necesitamos adquirir?” a profesores individuales y en equipos, en el contexto de un trabajo de formación en España, el autor organizó las respuestas como un conjunto de saberes y destrezas a ser desarrolladas por colectivos de profesores según ocho capítulos: 1. Conocer la materia a enseñar. 2. Conocer y cuestionar el pensamiento docente espontáneo. 3. Adquirir conocimientos teóricos sobre el aprendizaje y el aprendizaje de las ciencias. 4. Crítica fundamentada de la enseñanza habitual. 5. Saber preparar actividades. 6. Saber dirigir la actividad de los alumnos. 7. Saber evaluar. 8. Utilizar la investigación y la innovación. En las conclusiones del trabajo el autor plantea la necesidad de realizar trabajos de reflexión colectiva y “descondicionada” para modificar la “docencia de sentido común” e hipotetiza que: 1) las deficiencias en la formación inicial son obstáculos superables si son abordados y resueltos por equipos docentes en procesos críticos y creativos satisfactorios, y 2) no es conveniente transmitir propuestas didácticas acabadas para favorecer en los profesores procesos críticos sobre sus concepciones que les permitan modificar perspectivas y ampliar recursos.
<b>Furió Mas (1994)</b> “Tendencias actuales en la formación del profesorado de ciencias”	De este trabajo, cuyo autor pertenece al grupo que D. Gil, rescatamos sus conclusiones coincidentes con el trabajo anterior en cuanto a caracterizar la complejidad de la tarea de enseñar ciencias y a la necesidad de constituir una “nueva imagen del rol de profesor” que “además de poseer un conocimiento específico de la disciplina y un conocimiento de didáctica efectiva, los enseñantes deben disponer de tiempo para debatir ideas con sus colegas, participar en el desarrollo profesional e investigar sobre la enseñanza y aprendizaje.” (Ídem, p. 196).
<b>Porlán y Martín del Pozo (2002)</b> “La formación del profesorado en un contexto constructivista”	Este trabajo es un proyecto de investigación que tiene por finalidad “promover un conocimiento más riguroso acerca del conocimiento profesional de los profesores, y de los modelos formativos que favorecen su evolución”. A partir de una revisión de trabajos realizados en la década del '90 los autores hacen la siguiente caracterización del conocimiento profesional: 1) los profesores tienen una visión tácita y absolutista del conocimiento desde la cual la principal referencia al contenido escolar es el conocimiento disciplinar y éste, además, es visto como un conjunto de verdades inmutables, 2) la enseñanza es considerada como un proceso de transmisión directa de los contenidos, 3) el aprendizaje es el resultado de un proceso mecánico de incorporación en la mente de dichos contenidos, 4) la formación inicial superpone creencias interiorizadas con un conocimiento disciplinar academicista, fragmentado y descontextualizado que no permite construir un conocimiento profesionalizado y crítico pues no provoca las rupturas epistemológicas y didácticas necesarias; 5) estas visiones están en contradicción con los avances de la nueva filosofía y epistemología de las disciplinas, de la psicología del aprendizaje y de la investigación en didácticas específicas. Los autores sostienen que se puede favorecer el desarrollo profesional de los profesores y pueden surgir modelos de enseñanza-aprendizaje más conscientes, complejos y capaces de sustentar prácticas innovadoras y profesionalizadas cuando se despliegan modelos formativos que los estimulan a cuestionar sus concepciones y prácticas en relación con los principales problemas curriculares (qué enseñar y para qué, qué actividades desplegar, cómo valorar la evolución de la clase y del aprendizaje de los alumnos, etc.), y también cuando se estimula el diseño de cambios controlados en las aulas y su posterior reconstrucción crítica.
<b>Goodson (2003)</b> “Hacia un desarrollo de las historias	En este trabajo rescatamos los ejes conceptuales propuestos por el autor pues permite desarrollar cierto entendimiento que relaciona la práctica docente con la época en la que él se formó aportando, además, conocimientos históricos y socio-políticos de la educación científica en ese período. Dichos ejes se refieren a: las experiencias de vida y los antecedentes de los profesores, orígenes étnicos, estilo de vida



personales y profesionales de los docentes”	(fuera y dentro de la escuela), década de formación (ej.: los años '60, los '70, los '80 generan características docentes diferentes), ciclo de vida y decisiones profesionales (ej.: cómo los docentes construyen y perciben su desarrollo profesional en cada etapa), acontecimientos críticos de la vida del docente (particularmente los que afectan su percepción de la práctica), cuestiones de estrés y de desgaste, cambios planteados por las iniciativas de corte empresarial, la historia de vida personal y profesional, relación entre creencias, misión personal y reforma.
<b>Bolivar Botía, A. et al. (2004)</b> “Investigar la identidad profesional del profesorado: una triangulación secuencial”	El trabajo estudia la crisis de identidad profesional en el profesorado de EM de España. Se conjetura que: “... <i>la resistencia manifestada por el profesorado a los cambios educativos y sociales no proviene de un conservadurismo injustificado sino que es expresión de un modo de salvaguardar la propia identidad profesional, que el profesorado percibe como seriamente amenazada...</i> ”. Metodológicamente se adopta un enfoque hermenéutico que permite reconstruir cómo el cambio educativo y social son vividos por cada profesor como actor principal. Las dimensiones de la identidad profesional del profesorado analizadas son: autoimagen, reconocimiento social, grado de satisfacción, relaciones sociales en el centro o departamento, actitud ante el cambio, expectativas de futuro en la profesión, trayectoria de vida, historia profesional, formación recibida, crisis de identidad. Se concluye que según los profesores: el modelo clásico de enseñanza y de ejercicio de la profesión es caduco y no hay otro alternativo; la reestructuración de la escuela secundaria les demanda una reestructuración de la propia identidad profesional en especial a los de más años de experiencia; la crisis de identidad profesional los lleva a redefinir estrategias tales como: presentar resistencias, buscar una segunda ocupación, desarrollar comportamientos esquizoides, sentirse desmoralizados, insatisfechos o quemados (burnout).
<b>C. Blanchard Laville (1996)</b> “Saber y relación pedagógica. Un enfoque clínico”	La autora afirma que las escuelas y los profesores no suelen considerar que la actividad del profesor se desarrolla en el plano psicosocial. Esto significa que el docente está expuesto a tensiones que requieren controlarse mediante el autoconocimiento de la propia trayectoria de formación, de la relación establecida con el saber que enseña y con el modo en que las vicisitudes de la propia infancia y adolescencia perduran en la adultez. Sostiene que la formación debiese desarrollar ese autoconocimiento como base para reflexionar y luego poder operar sobre los contenidos y técnicas de enseñanza. Propone trabajar el análisis clínico de la relación del profesor con el saber que enseña a partir de los puntos oscuros de la dinámica de la clase desde cuatro dimensiones básicas: 1- Reconocimiento de la existencia de fenómenos inconscientes. 2- Relación de implicación entre investigador y sujeto, sujetos o grupo. La relación forma parte de la investigación. 3- Carácter irrepetible de los hechos que se estudian. 4- El “disfuncionamiento” interesa particularmente al investigador como vía de acceso a las estructuras de lo real.

### Algunas observaciones sobre la revisión bibliográfica

En los trabajos que hemos analizado del área de enseñanza de la FMyC observamos que los autores utilizan términos tales como “comprender”, “comprensión”, “comprensión de la ciencia”, sin embargo en ningún caso encontramos una caracterización explícita de dichos procesos.

Salvo en un trabajo, la valoración de la intervención didáctica suele estar con-fundida con los resultados de aprendizaje. Esta asociación parece no dar importancia a la discriminación entre

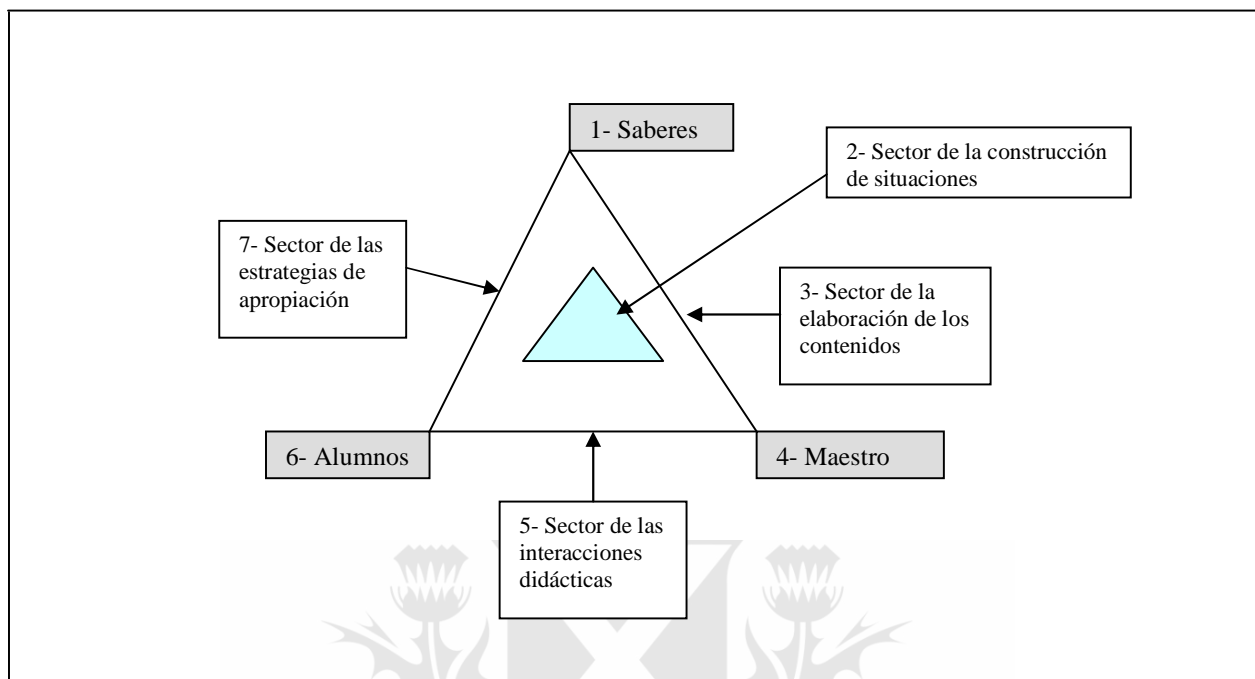
enseñar y aprender. Es decir, no encontramos análisis suficientes de la acción realizada por el profesor y tampoco acerca de como él proyecta, desarrolla y evalúa sus propias clases de FMyC. También dentro de los trabajos que analizamos en este capítulo observamos la coexistencia de variedad de enfoques y criterios para encarar los contenidos orientados a la enseñanza de la FMyC: enseñanza de conceptos cuánticos partiendo de conceptos clásicos o sin conceptos clásicos; enseñanza con conceptos y formalismos, o con conceptos y experimentos; enseñanza con experimentos centrados en el desarrollo interno de la Física o centrados en los desarrollos tecnológicos actuales, etc.

En los trabajos consultados no se otorga importancia a estudiar la comprensión de la Cuántica en la EM relacionando este proceso con el análisis de la intervención didáctica desplegada por los profesores, con la enseñanza de la Física en la institución o con el desarrollo profesional del docente. Pensamos que estas características pueden otorgar un mayor significado al enfoque con que encaramos nuestro estudio.

A modo de síntesis del extenso y diferenciado diálogo que hemos mantenido con trabajos de autores como Gil y Solbes, 1993; Mortimer, 1996; Lemke, 1997; Ostermann y Moreira, 2000; De Longhi, 2000; Fernández, González y Solbes, 2005; Siqueira y Pietrocola, 2005, entre otros, podemos afirmar que los mismos nos brindaron una visión panorámica del estado del arte. En cambio, al profundizar el diálogo con otros trabajos del área como los de Blanchard Laville, 1996; Stefanel, 1998; Pinto y Zanetic, 1999; Porlán y Martín del Pozo, 2002; Goodson, 2003; Paulo y Moreira, 2004; Barbosa y Pacca, 2007, entre otros, podemos reconocer que estas fuentes nos aportaron enfoques y criterios claves sobre el enfoque asumido para el estudio de la enseñanza de la cuántica, los profesores, su conocimiento y su desarrollo profesional.

Cerramos el capítulo II planteando dos cuadros. El cuadro n° 2 representa las clásicas relaciones entre saberes, alumnos y profesor mediante un triángulo que Astolfi (2001:78) amplía incorporando en la superficie y en los bordes de dicho triángulo dominios específicos del análisis didáctico de las ciencias naturales.

### **Cuadro n° 2. Relaciones entre elementos y sectores didácticos**

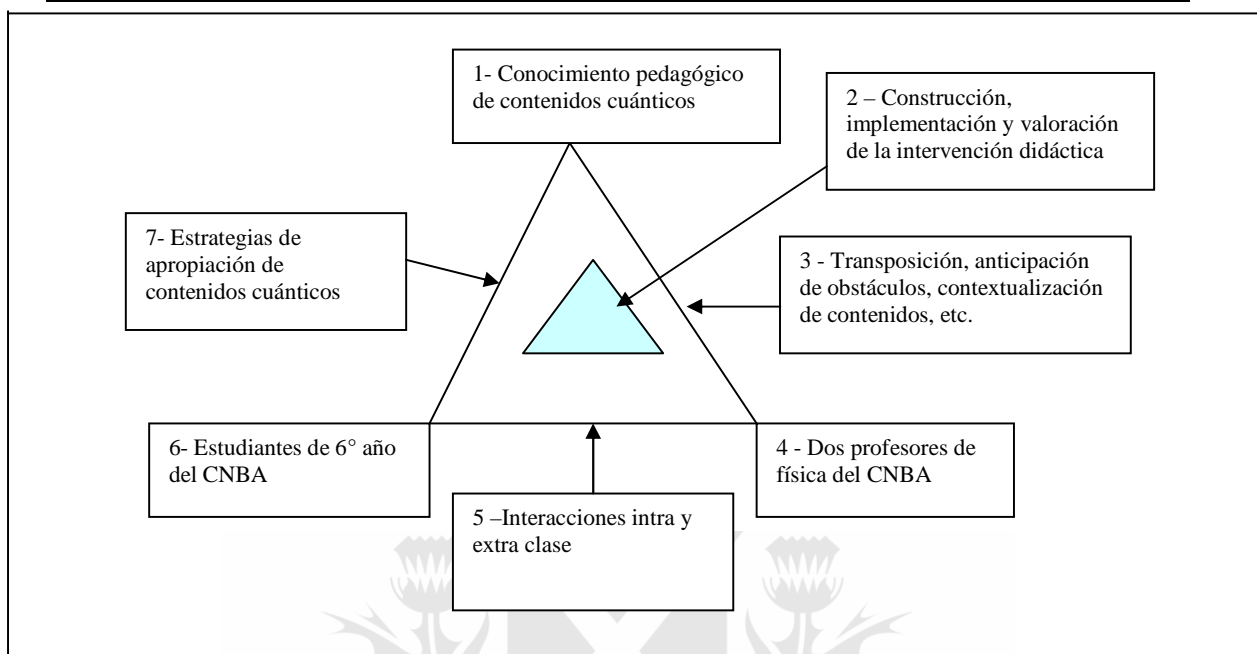


Fuente: Astolfi (2001:78)

Astolfi vincula el vértice 1 (saberes) con los conceptos de estructura conceptual y epistemología, el vértice 4 (maestro) con los modelos de enseñanza y la psicología, y el vértice 6 (alumnos) con las psicologías del aprendizaje. Mientras que los sectores ubicados en el centro y en los bordes del triángulo son utilizados para relacionar ciertos procesos didácticos con elaboraciones propuestas por Halté y Martinand (apud Astolfi, 2001: 78), como por ejemplo, el sector 2 (sector central de la construcción de situaciones didácticas) lo relaciona con los conceptos de situación problemática, objetivo obstáculo, contrato didáctico; el sector 3 (de la elaboración de contenidos) lo relaciona con los conceptos de transposición didáctica y trama conceptual; el sector 5 (de las interacciones didácticas) lo vincula con el concepto de ayuda didáctica y el sector 7 (estrategias de apropiación) con los conceptos de obstáculo, error, etc.

En el cuadro n° 3 los elementos y las relaciones didácticas descritas por Astolfi han sido adaptadas a nuestro estudio de las clases comprensivas de Cuántica según exponemos a continuación:

### Cuadro n° 3. Relaciones y elementos didácticos en un estudio de las clases de Cuántica



Fuente: Elaboración propia

La amplia revisión del estado del arte permite indicar que los trabajos revisados corresponden a los sectores 2, 3, 4 y 5 del cuadro n° 3 mientras que en el ANEXO (pág. 260) presentamos trabajos correspondientes a los otros sectores.

Recapitulando lo exhibido hasta aquí, en el capítulo I hemos presentado un panorama amplio de las dificultades y limitaciones involucradas en el desarrollo de clases comprensivas de Cuántica en la EM actual de nuestro país desde una visión personal. En el capítulo II y en el cuadro ubicado en el ANEXO presentamos el resultado del análisis diferenciado sobre las fuentes bibliográficas. Así, para construir el estado del arte, dialogamos con trabajos orientados a diversos temas y con distintos enfoques de investigación, mientras que para construir los antecedentes específicos sobre nuestro tema de estudio realizamos un análisis detallado de fuentes orientadas al foco de interés de la tesis. En el capítulo siguiente, el III, nos abocamos a la construcción del marco teórico, es decir, a desarrollar las ideas y conceptos que sostienen los objetivos del estudio.



## 1. Introducción

Hemos mencionado en el capítulo I que nuestro interés por estudiar la comprensión de la FMyC en la escuela media no es reciente. Inicialmente lo habíamos encarado desde enfoques que privilegiaron la construcción de criterios de análisis de textos para la enseñanza que facilitasen la lecturabilidad y la comprensión de los estudiantes (Iglesias y Speltini, 1998) y posteriormente realizamos una caracterización de las herramientas cognitivas que despliegan los estudiantes de nivel secundario para iniciar la comprensión de contenidos de cuánticos cuando en las clases se estimula la conexión entre el mundo subjetivo del alumno y el mundo objetivo de la ciencia mediante el pensamiento y el lenguaje metafóricos (Iglesias, 1999, 2008).

Como hemos planteado en los capítulos I y II, en este estudio nuestro interés pretende encarar la comprensión de la cuántica introductoria en la EM desde la intervención didáctica, es decir, desde la acción, la reflexión y la valoración que el profesor despliega sobre las clases. Cabe mencionar que si bien esta perspectiva se centra en la enseñanza también incluye consideraciones sobre el aprendizaje de la ciencia, la ciencia en la escuela media argentina y el desarrollo profesional del docente en la institución. En otras palabras el interés de estudiar las clases comprensivas de Cuántica en el nivel escolar medio se funda en una concepción amplia pero con innumerables limitaciones. Algunas de las cuales son: no encaramos la comprensión como proceso representacional y social en la línea de la semiosis social (Vygotsky, 1987, 1992 y Werscht, 1988); no planteamos la comprensión como proceso representacional individual que considera la semiosis como una facultad natural de la mente humana para abstraer o suspender símbolos y representaciones simbólicas, o por su “*capacidad de construir modelos metarrepresentacionales*”<sup>35</sup>. (Rivière, 1997; Español, 2001). Tampoco enfocamos la comprensión desde la perspectiva sostenida por algunos científicos y tecnólogos que trabajan

---

<sup>35</sup> Rivière (1997) en “Semiosis por suspensión” explica que la capacidad humana de construir signos a lo largo del desarrollo es función de las competencias cognitivas que el niño va adquiriendo por: 1) Suspensión sobre acciones directas (construcción de gestos deícticos como señalar en referencia a objetos presentes). 2) Suspensión de la acción instrumental (formación de símbolos enactivos que permiten (re) presentar lo que no está presente como por ejemplo soplar un mechero apagado). 3) El juego de ficción en el que sí se sustituye un objeto por otro, alrededor de los 2 años y medio de edad, y como resultante de otro nivel de suspensión semiótica que se produce cuando: “*Lo que se deja en suspenso no es la acción instrumental sino la representación misma que de los objetos tiene el niño*”.

dentro de la ‘física normal’ (en el sentido de Kuhn, 1971) y que al ser requeridos como profesores en cursos universitarios desarrollan sus clases de Cuántica centrándose en el manejo de los modos simbólicos o algorítmicos pues consideran que la comprensión es sólo un proceso pragmático y por lo tanto requiere del dominio de los sistemas formales, conceptuales y procedimentales y el grado de coherencia de las relaciones establecidas entre ellos (Mulhall y Massa, 1987). Nuestra mirada de la comprensión de la Cuántica en la EM no se vincula tampoco con la de aquellos filósofos de las ciencias que desde un enfoque “realista semántico”<sup>36</sup> (Diéguez, apud Palma 2008: 223) consideran que los problemas de comprensión de la mecánica cuántica surgen de interrogarse por las categorías ontológicas de la realidad y por la existencia de una racionalidad que si se expresa mediante la estructura lógica tradicional del lenguaje no permite entender cual es esa realidad de la que habla formalmente la Cuántica, como señala Lombardi (2005)<sup>37</sup>.

Necesitamos explicitar estas exclusiones para que no haya lugar a dudas respecto a qué y cómo enfocamos el problema de la comprensión de la Cuántica en la EM. Consideramos que el interés, la racionalidad, la comunicación y los significados que los especialistas desarrollan durante las actividades académicas, ya sea en la construcción o aplicación de procedimientos científicos o durante el análisis y la argumentación filosófica y lógico – semántica, se distinguen del interés, racionalidad, comunicación y significados característicos de la enseñanza de la Física en la EM y de la vida escolar en general. No asumimos tampoco enfoques pedagógicos que encaran la comprensión de los estudiantes considerando exclusivamente sus desempeños, como propone Perkins (1999) y Blythe (1999: 38).

---

<sup>36</sup> Dieguez (mencionado en Palma, 2008: 223) diferencia el realismo epistemológico del ‘realismo semántico’ según el cual “nuestras teorías sobre el mundo serán verdaderas o falsas en función de su correspondencia o falta de correspondencia con la realidad independiente”.

<sup>37</sup> Lombardi (2005) “... hay algo esencialmente elusivo en la mecánica cuántica que hace que, a más de cien años de su formulación original, no podamos todavía discernir con claridad la ontología descrita por la teoría. Por otra parte, si bien existe una estructura matemática que permite formular la mecánica cuántica en términos formales con total precisión, la teoría se resiste a todo intento de traducir el formalismo matemático a un lenguaje lógico tradicional. De este modo, con la mecánica cuántica los estrechos lazos entre lenguaje, pensamiento y realidad parecen haberse roto por primera vez: contamos con una exitosa teoría científica cuya referencia no podemos describir con nuestros lenguajes no-matemáticos; en consecuencia, no acabamos de comprender la realidad de la que nos habla dicha teoría. Cabe entonces preguntarse por aquella racionalidad tradicional expresada en la estructura lógica del lenguaje y, con ello, en las categorías ontológicas de nuestra realidad.”

Tratamos de elaborar un encuadre teórico<sup>38</sup> que nos permitiese reconocer, caracterizar, interpretar y vincular otras dimensiones de la comprensión desde el enfoque de la intervención didáctica. Esto requirió articular elementos de la filosofía, la psicología, la lingüística con otros específicos provenientes de la didáctica. Los conceptos, proposiciones e interrogantes a que arribamos son el resultado de continuos procesos reflexión, selección y vinculación entre teoría y empiria y dan sustento a todas las fases de este estudio, desde la formulación de los objetivos, elección del diseño general, selección de los participantes y escenarios, determinación del rol de los investigadores, elección de estrategias e instrumentos de recolección de la información y de análisis e interpretación de los datos. (Goetz y LeCompte, 1988: 62; Sautu, 1998: 43).

A medida que avanzamos en el análisis empírico y teórico hemos necesitado precisar y acotar nuestro objeto de estudio así necesitamos, entre otras cuestiones: diferenciar acciones y conceptos relacionados con los procesos de aprender, comprender, relacionar o elaborar; focalizar tramas como la intervención y el pensamiento de los profesores; diferenciar instancias *a priori* y *a posteriori* en la formulación de interrogantes y objetivos. En el cuadro 4 siguiente mostramos un ejemplo de la focalización del objeto de este estudio donde los interrogantes que relacionaron *a priori* los sistemas conceptuales se transformaron:

**Cuadro n° 4. Interrogantes a priori y posteriori**

Interrogantes a priori	Interrogantes a posteriori
1-¿Qué es comprender? en filosofía, en física, en psicología, en didáctica?	1) Ídem
2-¿Qué es construir conocimiento cuántico en las clases del secundario?	2) ¿Qué es construir conocimiento cuántico comprensivo en las clases del secundario?
3-¿Cómo se relaciona el lenguaje y la comunicación con las clases de cuántica en la escuela secundaria?	3) ¿Cómo se relacionan la comunicación, racionalidad, interés y significado con la comprensión de la cuántica en las clases de la escuela secundaria?

También debimos ajustar los objetivos formulados y los supuestos iniciales que sesgados por nuestra formación y experiencia docente fueron que los siguientes:

<sup>38</sup> H. Brown (1988: 217 - 220) explica que el marco epistémico de una disciplina ocupada en investigar científicamente la solución de problemas prácticos debe construir un consenso legítimo apoyado en la lógica y la normatividad de la propia disciplina. Dicha construcción requiere el desarrollo de: 1) un continuo proceso de investigación y discusión, 2) un equilibrio entre principios aceptados y nuevas ideas, y 3) un análisis sistemático de casos históricos. El consenso sobre aspectos claves de la disciplina debe utilizar el razonamiento histórico - dialéctico y el juicio informado de los expertos.



Los buenos profesores de Cuántica del CNBA: a) desarrollan clases comprensivas, b) integran inconsciente y operativamente elementos de distintas tradiciones pedagógicas, y c) se comprometen con los intereses y tipos de comunicación prevalecientes en dicha institución.

## 2. La comprensión humana

### 2.1 La comprensión desde una perspectiva filosófica

#### 2.1.1 Dimensiones

La comprensión desde la perspectiva filosófica puede estudiarse desde la dimensión colectiva, la individual o considerando los procesos de mediación que relacionan a ambas (Toulmin, 1977; Vygotsky, 1987, 1991; Wertsch, 1988); Habermas, 1988, 1992, 2010; Gabas 1980).

Desde la época de Dilthey y hasta muy avanzado el siglo XX, la noción de comprensión se ha relacionado con un proceso subjetivo, vivencia o método personal que provee de sentido y significado a las expresiones del espíritu. Mientras que la noción de explicación se ha considerado como el método de aprehensión de los hechos del mundo externo:

*... se llama comprensión a una forma de aprehensión que se refiere a las expresiones del espíritu y que se opone, como método de la psicología y de las ciencias del espíritu, al método explicativo propio de la ciencia natural (F. Mora, 2004).*

Sin embargo esta contraposición entre comprensión (*Verstehen*) y explicación (*Erklärung*) se ha sostenido dificultosamente en el tiempo porque requiere distinguir entre vivencias y hechos, o entre sentidos y causas.

Toulmin (1977) en su obra “La comprensión humana” presenta una perspectiva que facilita superar la oposición mencionada a partir de reseñar cómo han ido variando las relaciones entre ambos procesos - de “introspección” y hacia el “mundo externo” - durante el desarrollo de la historia intelectual considerándolos dos partes de un mismo proceso o como actividades totalmente independientes. Propone un programa para estudiar el problema de la comprensión humana cuyo propósito es elaborar:

*...una nueva explicación de las capacidades, procesos y actividades, en virtud de las cuales el Hombre*

*adquiere comprensión de la Naturaleza, y ésta a su vez se hace inteligible para el Hombre (ídem: 41).*

El autor prevé que su explicación será convincente más allá del ámbito de la filosofía particularmente en aquellas disciplinas que se ocupan de “*el proceso de conocer, del conocimiento y las ideas*” dado que trabajará en un tipo terreno en el cual:

*“las consideraciones empíricas solo pueden, a lo sumo, sugerir direcciones por las que podrían tratar de moverse la ciencia y la filosofía, y nunca podemos desenredar totalmente los aspectos científicos de la comprensión humana de los aspectos filosóficos” (ídem: 41).*

El programa de Toulmin sobre la comprensión humana abarca tres partes: la primera estudia la evolución de la comprensión humana a partir del análisis histórico de “las poblaciones de conceptos y procedimientos característicos de las actividades intelectuales colectivas”, la segunda estudia el desarrollo de la comprensión humana desde la perspectiva de la captación psicológica de conceptos, y la tercera es “la evaluación racional de la comprensión humana y el valor intelectual de los conceptos” para la filosofía encarada como consecuencia de los dos abordajes previos.

### 2.1.2 La comprensión como proceso colectivo

En la introducción de la Parte I cuando Toulmin afirma que “*cada uno de nosotros piensa sus propios pensamientos*” pero “*los conceptos los compartimos con nuestros semejantes*” insinúa el plan que seguirá: por un lado estudiará “*qué son los conceptos y qué papel desempeñan en nuestra vida*” considerando “*la relación central entre nuestros pensamientos y creencias, que son personales o individuales, y nuestra herencia lingüística y conceptual, que es colectiva*”, y por otro lado enfocará el uso colectivo de los conceptos en la ciencia y en otros campos separadamente de las cuestiones psicológicas o neurofisiológicas.

El autor luego de analizar históricamente cómo evoluciona y se transforma el contenido de una disciplina científica argumenta que la racionalidad de los sistemas conceptuales no está adherida sólo a una sistematicidad lógica (p. 95) sino al estudio de las condiciones, actividades y procedimientos - o empresas humanas - que un hombre o grupo profesional puede adoptar para conocer, criticar o modificar los sistemas conceptuales existentes (p. 144). Y que esa evolución sólo es perceptible en términos de las actividades explicativas y del lenguaje habitual de la propia

comunidad profesional. (p. 163). Plantea la necesidad de invertir la clásica “relación filosófica entre argumentos explicativos y la actividad de explicar” y de aceptar que la explicación en el contexto de las actividades humanas podrá basarse en procedimientos alternativos (p. 166 - 167).

*Ahora debemos invertir esta relación filosófica entre argumentos explicativos y la actividad de explicar. Tal como lo usamos aquí, los términos <explicar> y <explicación> se referirán primariamente a un ámbito de actividades humanas, que puede o no incluir la exposición de argumentos formales, demostrativos; dichos términos sólo secundariamente se aplicarán a los argumentos que intervienen en esas actividades explicativas (p. 166).*

*En la tarea práctica de dar explicaciones – a fin de cuentas - , los científicos muy a menudo no apelan a la presentación de argumentos deductivos explícitos, sino a actividades alternativas, como el trazado de gráficos o diagramas de rayos, la construcción de modelos intelectuales o la programación de computadores (p. 167).*

Respecto de la transmisión de los contenidos de una ciencia en sus aspectos comunales, Toulmin (p. 168 - 171) argumenta que se da por un proceso de enculturación que supone un aprendizaje en el que el núcleo a ser transmitido se conforma por: el lenguaje, los procedimientos explicativos (técnicas y habilidades intelectuales, métodos de representación), y los procedimientos de aplicación.

*Así el contenido de una ciencia se transmite de una generación de científicos a la siguiente por un proceso de enculturación. Este proceso supone un aprendizaje... En este aprendizaje, el núcleo de la transmisión – el elemento primario que debe ser aprendido, probado, aplicado, criticado y cambiado – es el repertorio de técnicas, procedimientos y habilidades intelectuales y métodos de representación que se emplean para <dar explicaciones> de sucesos y fenómenos dentro del ámbito de la ciencia involucrada. (P.168).*

*...son los procedimientos y técnicas de una disciplina científica los que forman sus aspectos comunales – y aprendibles - y, por ende, los que definen el conjunto representativo de conceptos que constituyen la <transmisión> colectiva de la ciencia. Si sólo aprendemos las palabras y las ecuaciones de una ciencia podemos quedar atrapados en su superestructura lingüística; sólo llegamos a comprender la significación científica de esas palabras y ecuaciones cuando aprendemos a aplicarlas”. [Es necesario distinguir]... “Tres aspectos o elementos en el uso de tales conceptos: I) el lenguaje, II) las técnicas de representación, y III) los procedimientos de aplicación de la ciencia” (p. 171).*

Sin embargo al analizar los modos de presentación de los procedimientos científicos Toulmin (1977: 171 - 174) distingue entre aquellos que persiguen fines científicos, que denomina modo simbólico o abreviado, y fines filosóficos que denomina modo extenso o conceptual. Indica, además, que el modo conceptual permite poner de relieve: a) las implicaciones entre conceptos, b) las relaciones entre los cambios en los aspectos lingüísticos y en las actividades explicativas, c) las innovaciones conceptuales, d) los vínculos con los problemas no resueltos. (p. 171). Dentro de los fines filosóficos insinúa cuestiones importantes para el aprendizaje y la enseñanza escolar de conceptos científicos basándose explícitamente en el planteo de adquisición de conceptos de Vygotsky (p. 172) y en considerar dicha adquisición como un proceso de enculturación:

*En el contexto de las discusiones que se producen dentro de una ciencia, a menudo se mantienen implícitas las referencias al <ámbito> de nuestras técnicas explicativas y las explicaciones se presentan en su integridad en términos de los aspectos simbólicos de la ciencia. Y esta costumbre constituye una gran economía, siempre que no se ponga en duda activa la pertinencia de esas técnicas. Sin embargo, para fines filosóficos debemos mantener a la vista los tres grupos de elementos y discutir los <conceptos> científicos, no sólo en términos lingüísticos abstractos, sino también en una jerga más concreta y práctica. (p. 171)*

*Al hablar de adquisición de conceptos como una variedad de <enculturación>, no necesitamos suponer que los procedimientos explicativos de una ciencia son otros tantos rituales invariables que deben realizarse con exactitud litúrgica. La enseñanza científica escolar a veces da esa impresión, al destacar excesivamente las formas detalladas de los procedimientos corrientes y, de tal modo, ocultando las razones por las que éstos adoptan tales formas y la flexibilidad de juicio necesaria en su aplicación empírica” (p. 173).*

### 2.1.3 El aprendizaje científico como iniciación en una institución social

Toulmin caracteriza a las disciplinas científicas como empresas racionales en desarrollo histórico orientadas a la mejora de sus procedimientos explicativos y no como secuencias de sistemas proposicionales lógicamente estructurados. Esta caracterización le permite, por un lado, desarrollar sus ideas sobre el uso colectivo y la transformación de los conceptos científicos y, por otro lado, plantear que el aprendizaje conceptual de disciplinas científicas es similar al ingreso a una institución social:

*“Para comprender una <entidad histórica> completa, sea una disciplina o una sociedad, no sólo debemos considerar la estructura corriente de relaciones que ligan a sus teorías, instituciones u otros elementos constituyentes, sino también los procedimientos aceptados dentro de ella para modificar esos elementos. Y la transmisión colectiva mediante la cual un conjunto de conceptos científicos halla su expresión profesional – el conjunto de modos de conducta explicativa regidos por reglas de esa rama de la ciencia – es <institucionalizada> de manera que hacen el aprendizaje conceptual en una ciencia comparable con la iniciación en una institución social” (p. 175).*

El autor desarrolla la analogía mencionada basándose en el análisis de: 1) las actividades intelectuales vinculadas a la historia de los conceptos jurídicos cuya significación (legal) se desarrolla progresivamente y cuyos contenidos superan las definiciones formales y las implicaciones lógicas con los códigos jurídicos, de modo tal que es necesario incorporar junto con la significación original de los conceptos sus consecuencias institucionales, 2) las relaciones entre procedimientos intelectuales específicos y objetivos profesionales en el marco de la empresa científica (Toulmin, 175).

*“Nadie imaginaría que un término técnico del derecho consuetudinario puede ser totalmente explicado por una simple definición verbal; en cambio su significación legal se desarrolla en forma progresiva, a medida que la acumulación de nuevos casos le crea gradualmente un significado. Como resultado de esto, los conceptos legales tienen que ser definidos no sólo en términos verbales, sino también en términos de sus consecuencias institucionales.”*

#### 2.1.4 La comprensión como proceso individual

Toulmin (ídem: 172, 173) razona que la adquisición y el uso de conceptos científicos son procesos de naturaleza colectiva pues se logran mediante procesos de enculturación, pero además señala que para pensar y comprender internalizadamente (o individualmente) los conceptos de la ciencia se ha basado en el enfoque de Vygotsky. A continuación presentamos una breve reelaboración de las ideas principales de este autor que se relacionan con la problemática de la comprensión en dos aspectos: por el estudio del significado de los sistemas de signos como son los lenguajes naturales y científicos, y por su aplicación al estudio de la interacción discursiva en el aula. Nos hemos basado en la obra de J. Wertsch (1988): “Vygotsky y la formación social de la mente”.

- El desarrollo se define *“en términos de aparición y transformación de las diversas formas de mediación”*.
- La relación entre el concepto de interacción social y los procesos psicológicos superiores involucra necesariamente a los mecanismos semióticos (o mecanismos inherentes al origen y desarrollo de los signos) y al concepto de mediación que supone el empleo de instrumentos y signos (p. 33).
- Estudiar la “naturaleza del significado de los sistemas de signos” dentro del lenguaje humano sienta las bases para establecer una vinculación de tipo genética entre los procesos individuales y sociales (p. 34).
- El uso de instrumentos es necesario para el advenimiento de las funciones psicológicas superiores específicamente humanas y dicho uso es la base del trabajo.
- Parte del trabajo de Vygotsky se centra en el análisis de la mediación de signos en la historia sociocultural. Particularmente se interesa por las formas de vida social que conllevan importantes consecuencias para la vida psicológica:

*Vygotsky pensaba que éstas residen básicamente en las esferas simbólico-comunicativas de la actividad en las que los seres humanos producen colectivamente nuevos medios para regular su comportamiento (p. 49).*

- El desarrollo del comportamiento humano se rige por las leyes de la evolución histórica de la sociedad. En este sentido, se destaca el papel fundamental que juegan el lenguaje y otros sistemas de signos que operan como instrumentos auxiliares en el proceso de regulación del comportamiento.
- El comportamiento humano está determinado por la interacción social y es necesario comprender el modo en que la interacción social conduce al desarrollo de funciones psicológicas superiores. Su interés por estudiar socio-históricamente las funciones psicológicas superiores origina su explicación de la descontextualización de los instrumentos mediacionales.
- Vygotsky concibe un principio de desarrollo que Wertsch denomina principio de descontextualización de los instrumentos de mediación.
- El análisis semiótico de Vygotsky está conformado por dos grandes núcleos: el significado abstracto de las palabras (conceptos) y el lenguaje interior.
- Plantea la existencia de un vínculo isomórfico entre funcionamiento interpsicológico e intrapsicológico de modo tal que la estructura del funcionamiento interpsicológico impacta sobre la estructura del funcionamiento intrapsicológico.
- La actividad externa se define como proceso social mediatizado semióticamente. Conocer este proceso permite entender la aparición del funcionamiento interno o internalización.
- Su interés semiótico por la internalización de los procesos sociales lo llevan a investigar el discurso y los sistemas de representación.
- La noción de internalización está involucrada con el proceso de transformación de los fenómenos sociales en fenómenos psicológicos superiores y, por lo tanto, la naturaleza del funcionamiento intrapsicológico interno está determinada por la realidad social. La internalización es el proceso mediante el cual se ejerce un control sobre las formas externas mediante signos.
- Las afirmaciones de Vygotsky en cuanto a los conceptos y a la generalización implican una relación entre signos y el contexto no lingüístico en el que los signos aparecen. Al referirse a los sistemas de conceptos Vygotsky se pregunta cómo los signos se relacionan entre sí y plantea que en las formas más avanzadas de generalización se encuentran en los conceptos científicos.

- Los conceptos científicos se encuentran en íntima relación con los procesos psicológicos superiores mediante la descontextualización (p. 118).
- La interacción social es la fuerza que permite pasar del pensamiento en complejos y pseudoconceptos al pensamiento conceptual.
- El análisis semiótico desarrollado por Vygotsky lo conduce al análisis del desarrollo de los conceptos. El análisis del desarrollo conceptual está en relación con la capacidad de las palabras para formar relaciones descontextualizadas con otras palabras.
- El sentido de la palabra (o texto) varía en su relación con el contexto. Por el contrario, el significado es fijo, invariable y estable. El significado constituye sólo una parte del sentido del habla: *“La noción de sentido tiene que ver con los aspectos contextualizados de la significación y la organización lingüística”* (p. 136).
- La interacción social se encuentra vinculada con significados generalizados estables.
- La noción vygotskyana de conciencia humana tiene en cuenta que los seres humanos construyen permanentemente su entorno y las representaciones de éste implicándose en diferentes formas de actividad. Los dos subcomponentes de la conciencia son el intelecto y la afectividad.
- Si bien el significado de la palabra puede tomarse como unidad para el análisis de la mediación semiótica de la conciencia, como propuso Vygotsky, no es una unidad de análisis para el examen de la conciencia humana en sí misma. Leontiev, uno de sus discípulos, propone la actividad como unidad de análisis. La noción de actividad trata de especificar lo que alguien está haciendo en el medio institucional social en el que ocurren los procesos psicológicos (p. 219).
- Wertsch propone que la unidad de análisis adecuada al marco teórico vygotskyano es *“la acción dirigida hacia un objetivo y mediada por instrumentos”* (p. 216).
- La actividad individual constituye un sistema dentro del sistema de relaciones sociales que no puede existir sin estas relaciones.
- Una actividad se puede concebir como un contexto situacional definido institucionalmente y basado *“en una serie de suposiciones sobre los papeles, objetivos y medios adecuados utilizados por los participantes de dicho contexto situacional. En términos de los niveles de análisis en la teoría de actividad, se podría decir que un contexto situacional de actividad guía la selección de acciones y la composición operacional de las acciones, y determina el significado funcional de*

*dichas acciones*” (p. 220). Wertsch examina dos actividades que resultan de particular interés: el trabajo y la escuela y propone que las concepciones vygotskianas pueden aplicarse “*al tratamiento de las consecuencias psicológicas de los fenómenos sociales institucionales*”. Desde esta perspectiva las nociones contexto situacional, actividad y motivo permiten establecer una relación entre los fenómenos sociales institucionales y los fenómenos psicológicos individuales (p. 223). Vygotsky no elaboró una concepción socio histórica de la mente. En su obra, se ocupó de establecer una relación entre la psicología y la interacción social humana mediada semióticamente.

### 2.1.5 Relaciones entre la dimensión social y la individual de la comprensión

Las ideas de Habermas (1988, 1992, 2010) también permiten reconocer la existencia de relaciones entre la dimensión social y la individual de la comprensión. Retomamos algunos planteos del autor que desplegamos en trabajos previos (Iglesias, 1999, 2008) y que permitieron combinar aspectos de la teoría de la acción lingüísticamente mediada (Habermas, 1988: 477 - 482) con las ideas de trabajo e interacción que el autor ubica en el marco de la ciencia y la técnica (Habermas, 2010: 68 - 71). Analizamos también el trabajo de Gabás (1980) referido a las relaciones entre naturaleza y hombre en la era técnica planteadas por la escuela de Francfort y que Habermas comparte con Horkheimer, Adorno y Marcuse; y entre trabajo e interacción (ídem, pág. 36 - 40) que Habermas amplía en su programa lingüístico (ídem, pág. 221 - 254). Integrando estos desarrollos entendemos que para Habermas el trabajo (o acción racional con respecto a fines y orientada por reglas técnicas), la interacción (o acción comunicativa simbólicamente mediada y orientada por normas sociales que se fundan en acuerdos sobre intenciones), y la reflexión (o acción emancipativa guiada por la comprensión de sentido) conforman la realidad humana, orientan su conocimiento y establecen relaciones entre intereses técnicos, prácticos y emancipatorios (ídem: 170). Además, y fundamentalmente porque nuestro estudio es de tipo didáctico, nos interesa resaltar el vínculo que establece el autor entre ciencia, razón y ética cuando explica que:



*...que la ciencia, ética y lógica constituyen un todo inseparable”, [que el sustrato en el cual se apoya la ciencia] “es la dimensión pragmática de la comunidad de argumentación” [y que] “la intersubjetividad social es siempre el trasfondo presupuesto en la constitución de toda realidad científica. (Gabás, 1980: 222).*

En el marco del programa lingüístico y de las nociones de “*comunidad de investigadores*” de Pierce y de “*juegos lingüísticos*” de Wittgenstein, Habermas postula que:

*La regulación intersubjetiva es a través de signos y en el contexto del juego lingüístico y que el tipo de significados que construyen los sujetos se relaciona con el interés y la racionalidad prevaleciente en el contexto lingüístico. (Ídem: 221).*

E intenta mostrar que:

*...toda significación lingüística (aspecto semántico del lenguaje) con inclusión de las significaciones pertenecientes a las ciencias naturales, se constituye en el marco pragmático (contexto intersubjetivo) de la interacción. (Ídem, 225).*

Una síntesis personal de los planteos de Habermas nos permiten considerar que los intereses median la acción entre sujeto y objetos (sean éstos naturales o lingüísticos) definiendo formas del conocimiento y de aprehensión de la realidad. La acción comunicativa (lenguaje) y la acción instrumental (trabajo, actividades) tienen su fundamento en procesos de autoconservación y de reproducción del género humano y están mediadas por un interés ontológico. Mientras que determinar qué habrá de conocerse o cómo se constituye aquello que se conocerá está mediado por un interés epistemológico y emancipatorio y se funda en la reflexión.

Los planteos de Habermas han influenciado no sólo en nuestras decisiones teóricas sino que también guiaron ciertas decisiones prácticas durante el diseño de la investigación como sucedió cuando debimos seleccionar la población de estudio más apta para nuestro trabajo. Concretamente, a partir de plantearnos interrogantes tales como: ¿cuáles son los intereses, racionalidades y significados predominantes en los departamentos de Física de las EM preseleccionadas? pudimos realizar una buena selección intencional de profesores y escuelas para poder estudiar las clases comprensivas de Cuántica en la EM quedándonos con el estudio de un solo caso, el del CNBA.

También las ideas de Habermas nos permitieron especular si a partir de caracterizar las acciones comunicativas (lenguaje) y las acciones instrumentales (actividades) propuestas en las clases de Física de 6° del CNBA sería posible primero describir y entender los intereses, racionalidades y significados prevalecientes en las clases y el departamento de Física de dicha institución y, segundo, interpretarlos como elementos característicos de los procesos de comprensión. Estas

conjeturas y diversas relecturas del material empírico nos mostraron la necesidad de incorporar constructos teóricos provenientes del campo de la psicología, la lingüística y la didáctica.

## 2.2 - La comprensión desde una perspectiva psicológica y pedagógica

### 2.2.1 Aprender, comprender, relacionar, elaborar

Hernández Hernández, P. (1997: 285 – 312) en el marco de un detallado trabajo sobre el constructivismo actual en educación (pág. 291) señala dos acentos predominantes en la literatura. Uno, que prevalece en la literatura europea, enfoca más los procesos <hacia atrás> y <hacia adentro>, se orienta a mejorar la comprensión e intenta la conexión con los conocimientos previos de los estudiantes. Otro, dominante en la literatura norteamericana y sobre todo en la tecnología educativa, enfoca más los procesos <hacia adelante> y <hacia fuera> y enfatiza la elaboración y el pensamiento productivo. Al analizar qué exigimos los profesores a los estudiantes o qué les demandamos frente a distintas situaciones de aprendizaje (ídem; 299) plantea claras diferencias entre saber y comprender, o entre comprender, relacionar o elaborar. El autor, en un detallado cuadro, discrimina cuatro tipos de aprendizajes: dos con finalidades de apoyo e importante valor instrumental que denomina aprendizaje repetitivo y aprendizaje arbitrario y otros dos con finalidades especiales, para comprender y relacionar o aprendizaje significativo, y para relacionar, emplear y generar o aprendizaje elaborativo. Nos detenemos en diferenciar los procedimientos constructivistas involucrados en cada una de las finalidades mencionadas.

Cuando la finalidad es comprender (o integrar) las actividades involucradas son: aproximar (conectar con conocimientos académicos previos); familiarizar (conectar con esquemas y experiencias familiares específicas: hechos, ejemplos, casos); diversificar (variar los ejemplos, las situaciones, los contextos...) (ídem: 300- 301).

Cuando la finalidad es relacionar (o enriquecer) admite dos tipos de procedimientos: analizar (o profundizar la interrelación entre componentes, partes, aspectos, funciones) o enmarcar (ampliar la interrelación entre causas, orígenes, efectos, circunstancias, semejanzas).

Si la finalidad es elaborar (o producir) también admite dos líneas de actividades. Una, en la línea de usar (que desde la perspectiva BIG = más allá de la información dada, involucra actividades como deducir, aplicar, interpretar o evaluar), o en la línea de generar (que desde la perspectiva WIG = sin información dada, involucra actividades como inducir conceptos, solucionar, teorizar y expresar creativamente).

Para este trabajo es importante diferenciar entre saber y comprender; o entre comprender, relacionar y elaborar pues nos permite caracterizar parte de las funciones y actividades que intentamos estudiar en las clases de Cuántica y que no están suficientemente diferenciados en la literatura consultada.

### 2.2.2 Aspectos subjetivos y objetivos de la comprensión

Sí, en cambio, en los antecedentes revisados en el capítulo II, hemos encontrado dos líneas, más o menos explícitas, de encarar la comprensión: una más subjetiva y emocional y otra más objetiva, lógica y didáctica. Recordemos al respecto (cap. II) una primera conceptualización de comprensión tomada de un trabajo de Luque Lozano et al. (1997: 324) en el cual definen que “*la comprensión es la aprehensión subjetiva del significado*” y que este proceso de aprehensión puede facilitarse o dificultarse por un elemento subjetivo y emocional, relacionado con el sentido y los motivos personales que se establecen frente al conocimiento, y por otro elemento, de tipo lógico y didáctico, relacionado con la estructura, la claridad y el orden en la presentación de dicho conocimiento. También encontramos ambas líneas mencionadas cuando analizamos trabajos sobre la enseñanza de la Cuántica (cap. II) que sitúan la construcción de significados contextualizando en los intereses cotidianos de los estudiantes o cuando promueven la comunicación de los conocimientos cuánticos logrados por los estudiantes mediante la producción de trabajos culturales, como sucede en los trabajos de Barbosa y Pacca (2007) y de Pinto y Zanetic (1999), respectivamente. Una reflexión sobre aspectos subjetivos y objetivos en el proceso de significación, estrechamente vinculado al de comprensión, está desarrollada en un trabajo teórico de M.A. Moreira (2000) denominado “Aprendizaje significativo crítico”. El autor, preocupado por caracterizar qué nos falta hacer a los profesores para promover en las clases el

aprendizaje significativo como actividad crítica sugiere, basándose en un trabajo de Postman y Weingartner (1969: 90, apud Moreira, 2000: 7), una serie de principios y estrategias que armonizan con aspectos del enfoque de Habermas (1988, 2010) y explican las dos líneas mencionadas. Nos referimos al “Principio del conocimiento como lenguaje” (ídem: pág.7) donde el autor afirma que “*prácticamente todo lo que llamamos <conocimiento> es lenguaje. Esto significa que la llave de la comprensión de un <conocimiento> o de un <contenido> es conocer su lenguaje*”, y al “Principio de consciencia semántica” (ídem: 8) en el cual, luego de aclarar que “*la palabra no es la cosa...la palabra significa la cosa, representa la cosa*”, explica que la relación entre las palabras y sus referentes varía en la “dirección del significado”. La dirección del significado se refiere tanto a los distintos niveles de abstracción de la palabra en relación con su referente como también a la orientación del significado que puede ser: desde afuera hacia adentro y el significado se denomina subjetivo, personal o connotativo, o desde adentro hacia fuera y el significado se denomina objetivo, social o denotativo. Moreira plantea las dos líneas en que se orienta la construcción del significado como una *ambigüedad central* de la educación cuando afirma que:

*En la enseñanza, lo que se busca, o lo que se logra, es compartir significados denotativos, respecto de la materia de enseñanza, pero el aprendizaje significativo tiene como condición la atribución de significados connotativos, idiosincrásicos (y esto significa la incorporación no literal del nuevo conocimiento a la estructura cognitiva). (Ídem: 8)*

## 2.3 – La comprensión desde una perspectiva didáctica

### 2.3.1 La intervención didáctica como eje

La perspectiva didáctica que presentamos en el marco teórico de este estudio sobre la comprensión de la Cuántica en las clases de secundario provee de constructos, criterios y modelos que vinculamos con la descripción y el análisis de las clases desde la intervención didáctica. Mientras que la perspectiva filosófica y la psicológica desarrollada previamente aportan elementos teóricos para su interpretación en términos de comprensión.

Como señalan Halté y Vergnaud (apud Astolfi 2001:76)<sup>39</sup> enfocar un estudio desde la intervención didáctica es considerar aspectos sociológicos, sistémicos y praxiológicos pues implica analizar: las tareas e intervenciones de los profesores; la organización e implementación de situaciones de enseñanza y su adaptación a los estudiantes; la interacción social, el clima y la cultura socio – institucional; las decisiones, enfoques y significados construidos sobre el conocimiento pedagógico de los contenidos así como una concepción psicológica del proceso de apropiación por parte de los estudiantes aunque no constituyan los focos del análisis. En otras palabras, la decisión de asumir para este estudio la perspectiva de la intervención didáctica en el análisis de las clases comprensivas de Cuántica implica considerar los elementos que presentamos mapeados en el gráfico con el que finalizamos el capítulo II enfocando sólo algunos en las clases de física.

### 2.3.2 Los fundamentos de tres dimensiones didácticas

A continuación desarrollamos los principales constructos teóricos que fundamentan las tres dimensiones de análisis didáctico construidas: el conocimiento enseñado (dimensión A), la actuación del profesor (dimensión B) y la construcción social del conocimiento (dimensión C).

En la dimensión del conocimiento enseñado hemos considerado trabajos que nos permitiesen caracterizar las fases teórico-filosóficas y técnico-experimentales del saber. Respecto de los aspectos teórico-filosóficos focalizamos: la naturaleza (ontología), el proceso de construcción<sup>40</sup> (epistemología) y los valores (axiología) del conocimiento físico desarrollado durante la enseñanza de la Cuántica en el CNBA. Como fue mencionado en el Capítulo I, según Klimovsky

<sup>39</sup> Astolfi (2001:76) Al referirse a las orientaciones e intereses de las investigaciones en didáctica de la ciencias se apoya en Halté (1992) cuando argumenta que si la reflexión es sobre: a) los contenidos de enseñanza, el interés es de carácter cognitivo y la dominante es epistemológica, b) las condiciones de apropiación de los saberes, la dominante es psicológica, c) la intervención didáctica la mirada es sistémica y articula los puntos a y b con las tareas del docente, la organización de las situaciones de enseñanza, la construcción de secuencias didácticas, etc. El interés dominante es praxiológico y en todos los casos la atención es hacia los saberes escolares disciplinarios.

<sup>40</sup> Usamos el término conocimiento en este planteo teórico y luego usaremos indistintamente conocimiento o saber considerando el significado utilizado por Siquiera y Pietrocola (2005) en un trabajo sobre el concepto de transposición didáctica aplicado a la teoría cuántica en la enseñanza media. En el mismo indican que la preferencia por el uso del término saber, en vez de conocimiento, sigue la opción de Chevallard cuando aplica el concepto de trasposición didáctica al campo de la enseñanza de la matemática donde “savoir” (saber) traduciría mejor el objeto del proceso de transformación involucrado en la transposición didáctica que “conniassance” (conocimiento), el cual aparenta abarcar un entendimiento más amplio y vago.

(1999) hablar de la naturaleza ontológica de los objetos científicos implica referirse a la relación entre términos empíricos y términos teóricos. La importancia que para la ciencia tiene el uso de términos teóricos ha admitido, históricamente, diferentes planteos epistemológicos tales como: constructivismo o empirismo radical, operacionalismo, instrumentalismo, realismo, estructuralismo. Considerando la importancia que tiene en la comunidad de enseñanza de la física la posición realista nos hemos preguntado ¿Cómo capta la realidad un científico realista y de qué depende el significado de los términos teóricos? Klimovsky responde que para un científico realista la realidad se capta a través de modelos y que “*el significado de los términos teóricos depende de la teoría que los emplea*”. Lombardi (1997), discípula de Klimovsky, señala respecto de los modelos de la Física:

*...los científicos trabajan con sistemas simplificados e idealizados, que no son más que entidades abstractas en las cuales se consideran como variables sólo los factores relevantes..., o se suponen ciertas características de los objetos inobservables que componen el sistema. Tales sistemas abstractos son los que suelen denominarse <modelos> del sistema real... Así, pues, se <construye> el modelo de un péndulo observable como un péndulo sin rozamiento y con hilo inextensible...*

Diversos autores que trabajan en el área de didáctica de la física y se preocupan por la validez filosófica de los modelos de educación en la ciencia han analizado las relaciones entre la naturaleza (ontología), el proceso de construcción (epistemología) y los valores (axiología) involucrados en la enseñanza de conocimientos físicos. Así Hodson (1994)<sup>41</sup>, en un artículo donde reflexiona críticamente sobre los modos de encarar el trabajo del laboratorio durante la enseñanza de la física, propone observar tres aspectos principales para el logro de una educación científica adecuada (pág. 305): 1) adquisición y desarrollo de conocimientos teóricos y conceptuales; 2) entendimiento de la naturaleza y de los métodos de la ciencia, y la conciencia de las interacciones complejas entre ciencia y sociedad; 3) conocimientos técnicos y prácticos sobre la investigación científica y la resolución de problemas. Además, en este trabajo se plantea cuáles son los propósitos y tareas que debiesen orientar cada uno de los tres aspectos<sup>42</sup> y lo que conlleva desarrollar un modelo educativo de la ciencia filosóficamente válido:

<sup>41</sup> Hodson, D. (1994) “Hacia un enfoque más crítico del trabajo del laboratorio”. *Ens. de las Ciencias*, 12 (3) 299-313

<sup>42</sup> El aspecto 1) consta de cuatro pasos: a) identificar las ideas de los alumnos, b) diseñar experiencias para explorar dichas ideas, c) ofrecer estímulos para que los alumnos presenten y modifiquen sus ideas, d) apoyar los intentos de los alumnos de reelaborar sus ideas. El aspecto 2) implica: a) planificar el aprendizaje sobre la naturaleza de la ciencia explícitamente, b) efectuar dicha planificación conforme a un modelo científico que sea válido filosóficamente y que contribuya a que los estudiantes desarrollen comprensión sobre la naturaleza de la ciencia, aprendan cómo se valora y cómo se informa la investigación científica. En el

*... un modelo de ciencia que, como mínimo, reconozca la falibilidad y la dependencia teórica de la observación y del experimento, que aporte conciencia de cómo se transmiten los conocimientos dentro de la comunidad científica, que admita que la ciencia está influida por consideraciones socioeconómicas, culturales, políticas, éticas y morales, y que haga hincapié en la distinción entre teorías realistas – cuyo objetivo es explicar – y modelos instrumentalistas – que persiguen realizar predicciones y establecer una medida de control. (Ídem: 307).*

También, Guridi, V. y Salinas, J. (1999) plantean relaciones similares a las presentadas por Hodson entre aspectos conceptuales y extra-conceptuales, como denominan estas autoras a los aspectos epistemológicos durante el acercamiento de los estudiantes al conocimiento científico y en particular a los de la física clásica, cuando indican que actualmente el saber científico resulta de la integración de aspectos ontológicos (referidos a una concepción del mundo natural que excluye las explicaciones animistas, mágicas o místicas e interpreta al mundo como un universo cognoscible y accesible al conocimiento); epistemológicos (vinculados a las características de la producción del conocimiento científico como por ejemplo, normativas de racionalidad y de precisión, sistematicidad, generalidad y objetividad); axiológicos (como objetivos y valores positivos del proceso y producto de la labor científica como por ejemplo progreso del conocimiento, aumento del bienestar, dominio racional de la naturaleza, enriquecimiento y disciplinamiento de la mente, honestidad intelectual); metodológicos (referido a las técnicas y procedimientos científicos que vinculan los datos empíricos con las teorizaciones, concebidas éstas últimas como conjuntos de hipótesis verificables); y conceptuales (tales como conceptos, hipótesis, leyes, modelos y teorías científicas sobre el mundo natural).

Para la descripción de los aspectos técnico-experimentales hemos considerado nuestra propia experiencia docente e investigativa que combinamos con constructos tomados de los trabajos de Salinas y Cudmani (1992)<sup>43</sup> y de Petrucci, Ure y Salomone (2006) sobre las prácticas de laboratorio de física. Estos aspectos los iremos precisando en el capítulo IV, previo y durante el análisis.

---

aspecto 3) considerar que la ciencia abarca: a) una fase de diseño y planificación (se hacen preguntas, se formulan hipótesis, se idean procedimientos experimentales y se seleccionan técnicas), una fase de realización (práctica de operaciones y recogida de datos), una fase de reflexión (examinar los hallazgos experimentales desde distintas perspectivas), una fase de registro y elaboración de un informe (se registran los procedimientos, su razón de uso, los hallazgos conseguidos, las interpretaciones y las conclusiones) para uso personal y/o para comunicar. (Hodson, 1994: 299 - 313).

<sup>43</sup> Salinas y Cudmani (1992 apud Petrucci et al, 2006: 10) consideran distintas orientaciones con que suelen presentarse las prácticas de laboratorio durante la enseñanza de la física en los ciclos básicos de carreras de ingeniería: como meras ilustraciones de la teoría (incluyen las demostraciones del profesor en las clases teóricas y sin involucrar mediciones), como estrategia de descubrimiento individual autónomo, como entrenamiento en los métodos de la ciencia y como escenarios para el cuestionamiento de paradigmas.

En la didáctica de las ciencias actual se sabe que muchos de los problemas de comprensión se ubican en los mismos saberes o contenidos. Es decir, se ha revelado la limitación teórica que conlleva para la enseñanza considerar los contenidos planteados por los programas o las secuencias establecidas en los manuales o las derivadas de la enunciación de objetivos (Astolfi, 2001: 177). Este autor plantea la necesidad de hacer una distinción entre la lógica de los conceptos (basada en los conceptos científicos y epistemológicos “universitarios” necesarios y que son atemporales y no lineales), la lógica de la acción (fundada en relaciones de causalidad, implicación temporal y con limitaciones materiales) y la lógica pedagógica (relativa a la planificación didáctica que si bien no es reducible ni al análisis del contenido ni a los aspectos psicológicos proveen de precisiones e instrumentos para cuestionar las presentaciones habituales de contenidos). Cabe mencionar que algunas de nuestras observaciones sobre este aspecto consideran básicamente aspectos de la lógica pedagógica y de la acción.

Una investigación orientada al campo de los contenidos debiese considerar como plantea Vergnaud (apud Astolfi, 2001: 75) que:

*... la definición de los contenidos de la enseñanza se sitúa en la encrucijada de numerosas limitaciones: el estado de los conocimientos científicos y sociales en el momento de que se trate; las prácticas sociales de los alumnos y su relación con el saber; las metas de la institución educativa y las finalidades profesionales; los participantes exteriores e interiores en el sistema; las competencias en el cuerpo de profesores, por ejemplo; el desarrollo cognitivo y el deseo de los sujetos en formación, sus conocimientos anteriores y sus representaciones espontáneas.*

También debe ocuparse de reflexionar sobre el carácter cognitivo del contenido (¿saber o saber hacer?), sobre su categoría epistemológica (¿saber erudito o saber social?), sobre sus estrategias de construcción (¿aproximación, transposición, elaboración de los saberes); o sobre su organización en currículos, entre otras cuestiones<sup>44</sup>.

---

<sup>44</sup> Según Astolfi (2004: 177) los contenidos de enseñanza debiesen derivarse de un análisis explícito de la materia consistente primero en descomponer cada concepto en sus ideas constitutivas para luego formular “enunciados de frases completas que delimiten con precisión los contenidos a fin de organizarlos en red”. Este tipo de análisis ubica sus objetos en un estado de “saber científico universitario” completado con enfoques epistemológicos e históricos y sin referencia a un nivel determinado de enseñanza. Se generan así “tramas conceptuales” con una serie de enunciados completos, jerarquizados, operativos (son frases relacionadas con problemas científicos) que no tienen carácter declarativo y describen las implicaciones lógicas entre los conceptos y no su sucesión cronológica en una progresión de enseñanza. Surge así una distinción entre la lógica de los conceptos (organización de los conceptos necesarios, atemporal y no lineal), la lógica de la acción (fundada en relaciones de causalidad, implicación temporal y con limitaciones materiales) y la lógica pedagógica (relativa a la planificación didáctica que si bien no es reducible ni al análisis de contenido ni a los aspectos psicológicos proveen de precisiones e instrumentos para cuestionar las presentaciones habituales de contenidos). La construcción de una trama conceptual se liga teóricamente a cuestiones



Para analizar la dimensión B que denominamos actuación del profesor hemos seleccionado trabajos E. Litwin (1997), A. Rivière (1996), P. Hernández Hernández (1997), Luque Lozano (1997).

Litwin (1997) en un amplio estudio sobre las clases universitarias de ciencias sociales plantea criterios y establece nuevas categorías de análisis que permiten caracterizar a la buena enseñanza o, en otras palabras, a una intervención didáctica orientada a promover la comprensión de los estudiantes. La autora considera que la forma particular con que los docentes estructuran sus prácticas de enseñanza es el resultado de sus historias y experiencias:

*Las prácticas de enseñanza presuponen una aproximación personal al acto de enseñar que posibilita a los docentes estructurar el campo de una manera particular y realizar un peculiar recorte disciplinario, fruto de sus historias, puntos de vista, perspectivas y, también, limitaciones. (Ídem.: 78).*

Y también que esa aproximación personal al acto de enseñar el profesor la expresa por:

*...el tratamiento de los contenidos, su particular recorte, los supuestos que maneja respecto del aprendizaje, la utilización de prácticas metacognitivas, los vínculos que establece en la clase con las prácticas profesionales involucradas en el campo de la disciplina de que se trata, el estilo de negociación de significados que genera, las relaciones entre la práctica y la teoría que incluyen lo metódico y la particular relación entre el saber y el ignorar. (Ídem: 97)*

Hernández Hernández, P. (1997: 285 – 312) presenta amplias características acerca de cómo intervenir didácticamente en las clases constructivistas en general en términos del clima, la metodología, las condiciones y estrategias que facilitan la construcción del conocimiento de los alumnos y particularmente en las estrategias orientadas a facilitar la comprensión (ídem: 300 – 307). Al respecto interesa destacar algunas ideas potentes referidas al trabajo del profesor que desarrolla, consciente o inconscientemente, una intervención de tipo constructiva y orientada hacia la comprensión: trata de generar un clima de clase distendido y respetuoso para facilitar la participación, usa distintos métodos (expositivo-suscitador, interactivo-productivo o activo-productivo) pero los orienta centralmente hacia el sujeto (es decir son psicocéntricos) y promueve diversidad de actividades, estrategias de enseñanza y de evaluación que facilitan la

---

epistemológicas y psicológicas y su interés didáctico está en que es un medio para organizar las formulaciones conceptuales a partir de un análisis racional (como por ejemplo sucede en la transposición didáctica).

construcción cognitiva. Estas estrategias consideran tanto la comprensión del discurso (se presentan objetivos, secuencias y guiones anticipadamente; se contrastan informaciones basándose en el principio <figura-fondo> para distinguir informaciones; se usan pausas y repeticiones; se estructura y jerarquiza la información usando distintas *macroestructuras*<sup>45</sup> con respecto a mismo eje conceptual; se usan sinopsis como así también el despliegue de situaciones orientadas a: motivar y realzar afectivamente el tema, generar expectativas prácticas y académicas, tomar como punto de partida la experiencia personal o cotidiana, suscitar cuestionamientos, hipótesis (generando desequilibrios cognoscitivos). Particularmente el profesor trata de: contrastar el conocimiento experiencial y cotidiano con el académico; conectar los nuevos conocimientos con los esquemas y representaciones que ya tienen los estudiantes; tomar como referencia previa los conocimientos académicos de los alumnos (yendo a su búsqueda o explicitándolos); valorar, retomar y sintetizar las aportaciones de los alumnos; reconducir los errores y malentendidos como soportes para configurar los conocimientos más adecuados; invitar a los alumnos a ser protagonistas haciendo planteos, relaciones, juicios, nuevos problemas, etc.; ofrecer materiales para que los alumnos consideren otras perspectivas, valoraciones e interpretaciones; poner al alumno frente a situaciones y problemas reales o simulados para que resuelva; preparar a los estudiantes para observen, analicen, diseñen e interpreten lo que hacen e hicieron; fomentar el diálogo, el debate y la búsqueda de soluciones en grupo; valorar distintos puntos de vista, garantizar la probabilidad de éxito ayudando con el andamiaje necesario para potenciar sus capacidades y que el estudiante se sienta significativo dando apoyo emocional a su participación, aprendizaje y metaprendizaje<sup>46</sup>.

---

<sup>45</sup> Rivièrè (1996) en Belinchón, M.; Rivièrè, A. e Igoa, J. M.I (1996): Psicología del Lenguaje. Investigación y Teoría. Madrid: Trotta. Cap. 11: La comprensión del discurso (pág. 469 - 530) basándose en la noción de macroestructura propuesta por Kintsch y van Dijk (1978) para definir la descripción semántica del contenido global del discurso (p. 500) y en las relaciones de Meyer describe cinco tipos de macroestructuras que caracterizar un texto y son: colección, causación, problema - solución, comparación, descripción. Interesa considerar la macroestructura del discurso de una clase o texto para la enseñanza de la ciencia pues permite reconocer fenómenos psicológicos relacionados con la comprensión como el recuerdo y la relevancia psicolingüística o jerarquía otorgada a los temas. Por ejemplo, se ha probado que recordar mejor las ideas importantes o de mayor nivel de un texto mejora la comprensión del mismo, y también que hay macroestructuras que favorecen más el recuerdo que otras y por ende facilitan más la comprensión en las clases de ciencias como la de “problema – solución” y “causación” (Otero, 1994) y Otero, Caldeira, Campanario (1999).

<sup>46</sup> Martí, E. (1999: 111), en el texto El aprendizaje estratégico, de J.I.Pozo y C. Monereo (comp.). Madrid: Aula XXI. Santillana, dentro del tema estrategias de resolución de problemas, estrategias de aprendizaje y su relación con la metacognición diferencia entre dos tipos de procedimientos: las *técnicas, habilidades o hábitos* que involucran secuencias automatizadas de acciones y las *estrategias* que requieren la realización de acciones planificadas. Así un pensamiento o acción estratégica se vincula al concepto

Para cerrar las bases de la dimensión B retomamos el planteo de Luque Lozano et al. (1997: 324) presentado en el cap. II cuando caracterizan desde una concepción constructivista que, en el marco de una práctica de enseñanza “*la comprensión es la aprehensión subjetiva del significado*” y que este proceso de aprehensión puede facilitarse o dificultarse por un elemento subjetivo y emocional relacionado con el sentido y los motivos personales que se establecen frente al conocimiento y por otro elemento, de tipo lógico y didáctico, relacionado con la estructura, la claridad y el orden en la presentación de dicho conocimiento. Además, (ídem: 320) estos autores indican que en las interacciones discursivas en aula hay dos procesos clave a través de los cuales se facilita la comprensión que son la negociación de significados y el traspaso del control.

En el desarrollo teórico de la dimensión C, construcción social del conocimiento hemos integrado ideas de diversos autores que seleccionamos con la convicción de que es imposible soslayar el análisis de la comunicación en cualquier estudio que se realice sobre la vida en las aulas. El enfoque socio-cultural y lingüístico está siendo aplicado al estudio de los procesos escolares desde final de la década del '80 y, por ejemplo, Edwards y Mercer (1988) en su obra “El conocimiento compartido” han estudiado los contextos sociales de cognición y la capacidad de asimilación de los alumnos a través de la comunicación oral y el análisis de las relaciones entre el contenido de las clases, las actividades prácticas y los discursos dedicando un capítulo a las clases de física. También Lemke (1997) en “Aprender a hablar de ciencia” postula que aprender ciencias implica aprender a hablar de ciencias fundamentando su afirmación con un detallado análisis de las interacciones discursivas en diversas clases escolares de ciencias.

Partimos de reconsiderar algunos principios propuestos por Vygotsky y desarrollados en la obra de Wertsch (1988: 13) que postulan cuestiones tales como: a) La interacción social se encuentra vinculada con significados generalizados estables; b) Una actividad se puede concebir como un contexto situacional definido institucionalmente; y c) La noción de contexto situacional de actividad y su motivo permiten establecer una relación entre los fenómenos sociales institucionales y los fenómenos psicológicos individuales.

---

de metagonición porque requiere que el sujeto realice una actividad intencional y controlada (prever qué y cómo) para poder encadenar procedimientos orientados a lograr un objetivo determinado.

Hemos tratado de operacionalizar algunas de las ideas que plantea Litwin (1997: 88 – 91) cuando analiza “La comunicación didáctica en la clase reflexiva” particularmente cuando se refiere a los tipos de explicaciones que genera el docente y a las preguntas que formula. Interesa resaltar algunas puntualizaciones que hace Litwin (1997: 90) al respecto para no caer en falsos estereotipos y poder construir interpretaciones más significativas sobre la comunicación en el aula. Al respecto, la autora dice:

*Algunos estereotipos respecto de las interacciones en el aula consideran que los procesos de intercambio verbal garantizan la producción de conocimiento. Las preguntas o los tipos de explicaciones pueden generar (o no) un proceso reflexivo que conduzca o promueva la construcción del conocimiento. [...] Las distintas voces, en el sentido de Wertsch, están presentes en la clase. La comprensión es un proceso activo que depende de la estructura de la clase, de la actividad que genera el docente y del tipo de actividad comprensiva que despliega el alumno. Las formas que adquiere la interacción verbal no constituyen expresiones lineales de determinado tipo de pensamiento.*

Según Litwin (ídem: 89) las explicaciones pueden ser de muy diversos tipos y apoyándose en Leinhardt (1990, apud Litwin, 1997: 90) indica que las explicaciones en las prácticas de enseñanza suelen basarse en los campos disciplinares (convenciones sobre cuáles son las preguntas importantes, qué es una evidencia, un presupuesto o una hipótesis); son creadas para la clase (explicaciones para clarificar conceptos, procedimientos, hechos, ideas y problemas) o son autoexplicaciones (usadas para clarificar significados particulares y fragmentarios e implican el contacto con otros cuerpos de conocimiento). Respecto de las preguntas, la autora se preocupa por la “*burocratización de la pregunta en los espacios escolares*” es decir, no todas las formas gramaticales utilizadas en las clases dan cuenta de formularse preguntas sin embargo pueden formularse con propósito de enseñar a pensar presentándose de múltiple modos y estilos.

También, para la descripción y análisis general de la comunicación (enfoque macroetnográfico) hemos consideramos los planteos de Hernández Hernández, P. (1997) que presentamos más arriba cuando describimos varias características de la intervención didáctica en las clases constructivistas. Mientras que para relevar aspectos microetnográficos de la comunicación en las clases de Cuántica nos hemos basado en un instrumento propuesto por Mortimer y Scott (2002) que intenta describir el género discursivo en las aulas de ciencias a partir de reconocer estructuras y patrones típicos de los diálogos aportando constructos a ser interpretados desde el marco de la comprensión general que construimos a partir de las ideas de Toulmin (1977), Habermas (1987,

2010), entre otros. Presentamos seguidamente un breve glosario con una caracterización de los términos utilizados por Mortimer y Scott, algunos de los cuales adaptamos y utilizamos nosotros.

Estructura analítica: es el nombre del instrumento desarrollado por Mortimer y Scott (2002) para analizar las interacciones discursivas y la producción de significados en las clases de ciencias. Dicho instrumento focaliza: las intenciones del profesor, el contenido del discurso en la clase, el abordaje comunicativo, los patrones de interacción y las intervenciones del profesor.

Intenciones del profesor: son las metas que habitualmente se propone e implementa el docente en la clase de ciencias como por ejemplo: crear un problema para atraer a los estudiantes, explorar la visión de los estudiantes, organizar las ideas científicas en el plano social de la clase, guiar a los estudiantes en el trabajo con las ideas científicas, dar soporte al proceso de internalización, dar soporte a los estudiantes para aplicar las ideas científicas enseñadas a una variedad de contextos, transferir a los estudiantes el control y la responsabilidad por el uso de esas ideas, etc.

Contenido del discurso en clase: los autores consideran que el lenguaje social de la ciencia escolar suele estructurarse en base a tres categorías: la descripción, la explicación y la generalización.

Abordaje comunicativo: este concepto es central para los autores pues indica la forma en que el profesor opera con sus intenciones y el contenido de enseñanza. Los autores identifican cuatro clases de abordajes comunicativos que provienen de combinar los siguientes tipos de discurso en clase: discurso dialógico (aquel con más de un punto de vista e interacción de ideas) o discurso de autoridad<sup>47</sup> (opuesto), y discurso interactivo (producido por un grupo) o discurso no interactivo (producido por una persona). Los abordajes resultantes son:

Interactivo/ Dialógico (I/D): Profesor y estudiantes trabajan juntos distintos puntos de vista explorando ideas y formulando preguntas auténticas.

No-interactivo/ Dialógico (NI/D): El profesor considera en su discurso diversos puntos de vista destacando similitudes y diferencias.

Interactivo/ De autoridad (I/A): El profesor conduce a los estudiantes, por medio de preguntas y respuestas, a lograr un punto de vista específico.

No-interactivo/ De autoridad (NI/A): El profesor desarrolla un punto de vista específico.

---

<sup>47</sup> Estas dos funciones del discurso, dialógico y de autoridad, fue discutida por Wertsch (1991 apud Mortimer, 1998) y se basa en la distinción entre discurso internamente persuasivo y discurso de autoridad.

Patrones de interacción: son formas del discurso que emergen cuando el profesor y los alumnos alternan turnos en el habla de la clase. Los patrones más comunes son las triadas I-R-E (iniciación del profesor, respuestas del alumno, evaluación del profesor). Otros patrones forman cadenas no triádicas del tipo I-R-P-R-P o I-R-F-R-F (donde P significa una acción discursiva de permitir la continuación del habla del alumno y F el feedback para que el alumno elabore más su habla).

Intervenciones del profesor: Son formas específicas que adquiere la mediación didáctica para desarrollar aspectos del proceso de construcción de significados. Por ejemplo, cuando el docente considera la respuesta de un estudiante e ignora la respuesta de otro la intervención se orienta a seleccionar significados. O, cuando el profesor solicita a los estudiantes que escriban sus explicaciones o comprueba si hay consenso sobre determinados significados, la intervención se orienta a identificar que tipo de significados están atribuyendo los estudiantes a situaciones específicas.

Término empírico: aquí consideramos a Klimovsky (1999: 62) cuando explica que un término empírico designa a un objeto o entidad de la base empírica de una teoría o disciplina y puede conocerse mediante algún procedimiento notorio sin soportes conceptuales ni entidades teóricas.

Término teórico: designa a un objeto o entidad de la zona teórica de una teoría o disciplina y puede conocerse sólo mediante el uso de instrumentos y estrategias que están más allá de la observación y de la práctica directa como por ejemplo el lenguaje.

Descripción: involucra enunciados que se refieren a un sistema u objeto en términos de sus constituyentes, de sus características, de las condiciones en que puede manifestarse, o de los desplazamientos espacio – temporales que experimenta.

Explicación: implica generar enunciados que incluyen la importación de algún modelo teórico o mecanismo para referirse a un fenómeno o sistema específico.

Generalización: según Klimovsky (1999: 70) existen diversos tipos de generalizaciones pero en todos los casos requiere elaborar enunciados (sean descripciones o explicaciones) válidos para cada uno de los elementos de un conjunto e independientes de un contexto específico. Las descripciones, explicaciones y generalizaciones empíricas son aquellas que utilizan referentes directamente observables (ej.: los constituyentes o propiedades de un sistema u objeto). Las

descripciones, explicaciones y generalizaciones teóricas son las que utilizan referentes no observables directamente pero que son creadas por medio del discurso teórico de las ciencias (ej.: los modelos de la materia).

### 3 – Síntesis teórica: algunos constructos y proposiciones que fundamentan el estudio

#### 3.1 Desde una perspectiva filosófica y psicosocial

##### De S. Toulmin (1977)

-Los modos de presentación de los contenidos y técnicas explicativas de las ciencias son dos: modo extenso (o conceptual), modo simbólico (científico o abreviado) o ambos combinados<sup>48</sup>. En los ámbitos de la ciencia prevalece el modo simbólico. En ámbitos como la filosofía o la educación se deben discutir los conceptos científicos en un modo extenso, o jerga más concreta y práctica, y no sólo con términos abstractos. El modo extenso permite poner de relieve: a) las implicaciones entre conceptos, b) los cambios en los aspectos lingüísticos y en las actividades explicativas, c) las innovaciones conceptuales, d) los vínculos con los problemas no resueltos.

-Enculturación: es el proceso de aprendizaje social por el cual se transmiten los contenidos de una ciencia que requiere vincular la historia interna de los conceptos con el análisis de las actividades intelectuales y sus implicaciones institucionales más amplias.

-Núcleo de la transmisión de la ciencia: es el repertorio de procedimientos, habilidades intelectuales y métodos de representación.

-Medio de transmisión de la ciencia: es el lenguaje propio de cada disciplina.

-Significación científica o comprensión se logra cuando se aprende a aplicar su lenguaje propio.

-Aprendizaje de una disciplina científica como análogo al ingreso a una institución social.

---

<sup>48</sup> Diversos autores han trabajado en las diferencias entre lenguaje científico y el escolar como Halbwachs (1975) en su clásico artículo “La física del profesor entre la física del físico y la física del alumno”, Chevallard (1985) mediante la aplicación a la didáctica del matemática del concepto de transposición didáctica de Verret (1975 apud Astolfi, 2001), Sutton (1992, 1997); M.J.Rodrigo (1997).etc.

-La comprensión científica puede estudiarse desde la dimensión colectiva o individual. La dimensión colectiva requiere indagar el uso comunal de los conceptos separadamente de los aspectos psicológicos.

-El tipo de racionalidad que vincula la comprensión científica con el uso colectivo de los conceptos es de tipo fáctica y descriptiva.

-Las actividades explicativas de una disciplina científica se basan en argumentos y en procedimientos como el trazado de gráficos, los diagramas, la construcción de modelos mentales o la programación de computadoras.

**De Vygotsky** (a partir de Wertsch, 1988):

- La relación entre el concepto de interacción social y los procesos psicológicos superiores involucra a los mecanismos semióticos y al concepto de mediación que supone el empleo de instrumentos y signos.

- El comportamiento humano está determinado por la interacción social y es necesario comprender el modo en que la interacción social conduce al desarrollo de funciones psicológicas superiores.

- Existe un vínculo isomórfico entre funcionamiento interpsicológico e intrapsicológico de modo tal que la estructura del funcionamiento interpsicológico impacta sobre la estructura del funcionamiento intrapsicológico.

- El sentido de la palabra (o texto) varía en su relación con el contexto. El significado es fijo, invariable y estable. El significado constituye sólo una parte del sentido del habla.

- La interacción social se encuentra vinculada con significados generalizados estables.

- La noción vygotskyana de conciencia humana tiene en cuenta que los seres humanos construyen permanentemente su entorno y las representaciones de éste implicándose en diferentes formas de actividad. Los dos subcomponentes de la conciencia son el intelecto y la afectividad.

8) Una actividad se puede concebir como un contexto situacional definido institucionalmente y basado “en una serie de suposiciones sobre los papeles, objetivos y medios adecuados utilizados por los participantes de dicho contexto situacional.



9) Las nociones de contexto situacional, actividad y motivo permiten establecer una relación entre los fenómenos sociales institucionales y los fenómenos psicológicos individuales.

### 3.2 Desde una teoría de la acción

#### Habermas (1988, 1992, 2010)

Los constructos que listamos provienen de combinar aspectos de la teoría de la acción lingüísticamente mediada (Habermas, 1988: 477 - 482) con las ideas de trabajo e interacción que el autor plantea en el marco de sus trabajos sobre la ciencia y la técnica (Habermas, 2010: 68 - 71).

-Trabajo es una acción racional con respecto a fines y orientada por reglas técnicas.

-Interacción es una acción comunicativa simbólicamente mediada y orientada por normas sociales que se fundan en acuerdos sobre intenciones.

-Reflexión es una acción emancipativa guiada por la comprensión de sentido.

-Regulación intersubjetiva se da a través de signos y en el contexto del juego lingüístico.

-Tipo de significados construidos se relaciona con el interés y la racionalidad prevaleciente en el contexto lingüístico.

-Significación lingüística (aspecto semántico del lenguaje) es el marco pragmático (contexto intersubjetivo) de la interacción.

-Los intereses median la acción entre sujeto y objetos (sean éstos científicos o lingüísticos) definiendo formas del conocimiento y de aprehensión de la realidad.

-El interés ontológico mediatiza la acción comunicativa (lenguaje) y la acción instrumental (trabajo, actividades).

-El interés epistemológico mediatiza la acción de conocer y reflexionar y es emancipatorio.

### 3.3 Desde la intervención didáctica

#### Litwin (1997)

-Intervención didáctica: es una aproximación personal del docente a las prácticas de enseñanza “fruto de sus historias, puntos de vista, perspectivas y, también, limitaciones” (Ídem.: 78) que se expresa por: “...*el tratamiento de los contenidos, su particular recorte, los supuestos que maneja respecto del aprendizaje, la utilización de prácticas metacognitivas, los vínculos que establece en la clase con las prácticas profesionales involucradas en el campo de la disciplina de que se trata, el estilo de negociación de significados que genera, las relaciones entre la práctica y la teoría que incluyen lo metódico y la particular relación entre el saber y el ignorar.* (Ídem: 97)

### **Hernández Hernández, P. (1997)**

Intervención didáctica constructivista: el trabajo del profesor que se orienta hacia la comprensión trata de generar:

- + **Clima de clase**: distendido y respetuoso para facilitar la participación.
- + **Métodos diversos** (expositivo-suscitador, interactivo-productivo o activo-productivo) pero **dirigidos hacia el sujeto** (psicocéntricos):
- + **Actividades** cognitivas orientadas a:

Aproximar: conectar conocimientos académicos nuevos con previos.

Familiarizar: vincular conocimientos nuevos con esquemas y experiencias familiares específicas tales como hechos, ejemplos, casos.

Diversificar: variar y ampliar los ejemplos, las situaciones, los contextos...

- + **Estrategias** orientadas a:

#### 1) La comprensión del discurso mediante:

- Presentación de objetivos, secuencias y guiones anticipadamente.
- Contrastación/ distinción de informaciones basándose en el principio <figura-fondo>.
- Uso de pausas y repeticiones.
- Estructuración y jerarquización de la información usando distintas macroestructuras con respecto a un mismo eje conceptual.
- Uso de sinopsis.

#### 2) Desplegar situaciones que:

- Motiven y realcen afectivamente el tema.
- Generen expectativas prácticas y académicas.
- Tomen como punto de partida la experiencia personal o cotidiana.
- Susciten cuestionamientos, desequilibrios cognoscitivos, hipótesis.

### 3) Inducir en los estudiantes a:

- Contrastar el conocimiento experiencial y cotidiano con el académico.
- Conectar los nuevos conocimientos con los esquemas y representaciones que ya tienen.
- Tomar como referencia previa los conocimientos académicos (yendo a su búsqueda o explicitándolos).
- Ser protagonistas haciendo planteos, relaciones, juicios, nuevos problemas, etc.
- Valorar, retomar y sintetizar las aportaciones propias y de los otros.
- Reconducir los errores y malentendidos como soportes para configurar los conocimientos más adecuados.
- Considerar otras perspectivas, valoraciones e interpretaciones a partir de materiales alternativos.
- Ponerse frente a situaciones y problemas reales o simulados para resolverlos.
- Observar, analizar, diseñar e interpretar lo que hacen e hicieron.
- Búsqueda de soluciones en grupo mediante el diálogo y el debate.
- Valorar distintos puntos de vista.

### **Luque Lozano et al. (1997)**

“*La comprensión es la aprehensión subjetiva del significado*” y este proceso de aprehensión puede facilitarse o dificultarse por un elemento subjetivo y emocional relacionado con el sentido y los motivos personales que se establecen frente al conocimiento y por otro elemento de tipo lógico y didáctico, relacionado con la estructura, la claridad y el orden en la presentación de dicho conocimiento. En las interacciones discursivas en aula hay dos procesos clave a través de los cuales se facilita la comprensión que son la negociación de significados y el traspaso del control.

Una reelaboración de los elementos conceptuales desarrollados principalmente en los capítulos II y III da sustento teórico a los objetivos de esta investigación.

#### **4. Objetivos de investigación**

El objetivo general de este estudio es caracterizar didácticamente las clases de FMyC consideradas comprensivas por profesores y alumnos de un colegio secundario de la ciudad de Buenos Aires, en el año 2005, mediante la construcción de categorías teóricas.

Los objetivos específicos, de tipo descriptivo, focalizan la intervención didáctica y se orientan a:

1. Describir el conocimiento enseñado considerando aspectos teórico – filosóficos, y técnico - experimentales (Toulmin, 1977, Habermas, 1987, 1992, 2010; Klimovsky, Hodson, 1994; Guridi et al., 1999; Moreira, 2000; Petrucci, 2006; entre otros).

2. Analizar la intervención didáctica en términos de caracterizar cómo el profesor gestiona el contenido de enseñanza (organiza y estructura) mediante prácticas cognitivas (propósitos, actividades, recursos, evaluación, métodos) y prácticas metacognitivas (interpretación y anticipación de obstáculos)<sup>49</sup> (Rivière, 1996; Litwin, 1997; Hernández Hernández, 1997; Luque et al., 1997; Astolfi, 2001; entre otros).

3. Caracterizar la construcción social del conocimiento en las clases más comprensivas de FMyC considerando cómo interactúa el profesor con sus propios conocimientos, con los de los estudiantes, con su desarrollo profesional e institucional (tipo de preguntas, lenguajes, climas, resistencias) en el marco de la participación de los estudiantes. (Vygotsky, 1987, 1991; Wertsch, 1988; Porlán et al., 1998; Mortimer y Scott, 2002; Bolívar Botía, 2004, entre otros).

#### **5. Síntesis gráfica**

Luego de una reelaboración teórica y personal de los trabajos Toulmin (1977), Habermas (1988, 1992 y 2010), Vygotsky (1987, 1991), Wertsch (1988), Rivière (1996, 1997), Litwin (1997, 2008), Hernández Hernández (1997), Luque Lozano et al., (1997) - que admite concebir la

---

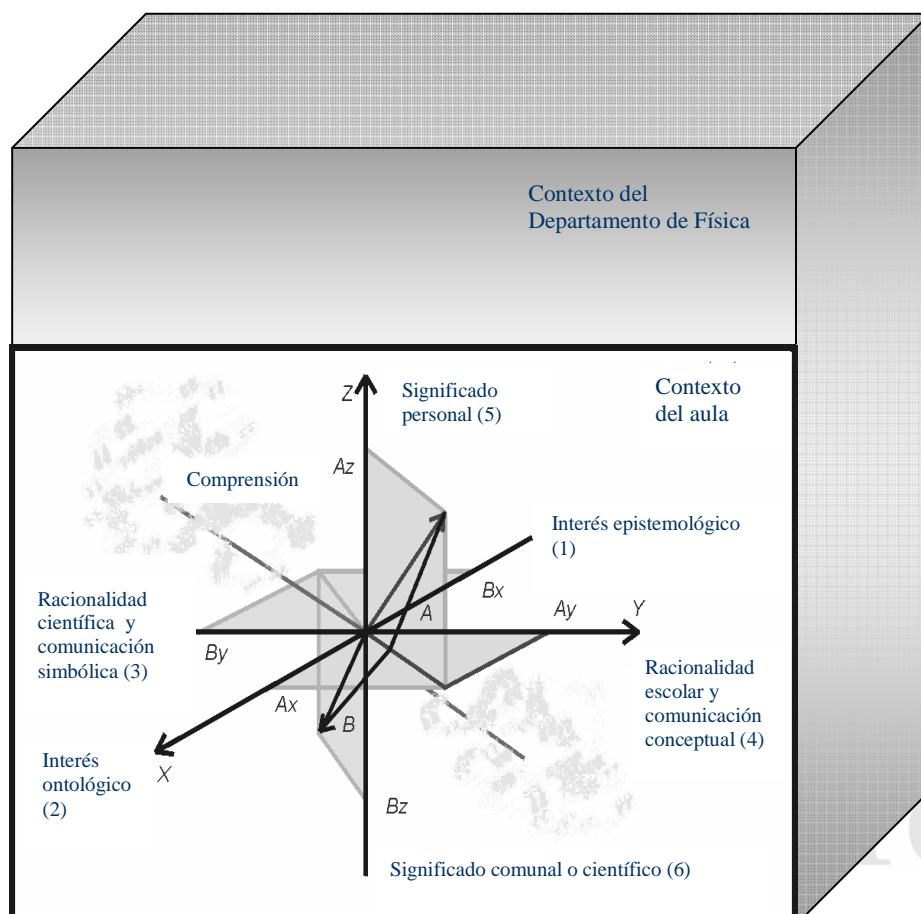
<sup>49</sup> Estos aspectos se basan en las configuraciones didácticas desarrolladas por Litwin (1997) en un estudio sobre las buenas clases de ciencias sociales universitarias.

*comprensión* en los niveles filosófico, lingüístico-pedagógico y didáctico-cuántico - decidimos elaborar un esquema gráfico para sintetizar los elementos teóricos del capítulo III. El esquema gráfico que diseñamos permite definir a la *comprensión* como una combinación vectorial de conceptos variables en tres dimensiones denominadas interés, racionalidad y significado (ver cuadro n° 5 en pág. 94).

¿Cómo podríamos describir el proceso de construcción de la comprensión a partir de las acciones que se desarrollan en una clase de física cuántica mediante nuestra representación gráfica? Concretamente podríamos seleccionar dos actividades A y B diferentes –ya sea en sus objetivos, contenidos, estrategias o métodos- y las combinaríamos mediante el producto vectorial de dos vectores en tres direcciones X, Y, Z. Cada dirección representa a alguna de la tres dimensiones constitutivas de la comprensión: es decir, la dirección X representa el interés, la dirección Y la racionalidad y la dirección Z el significado, mientras que sus propiedades varían entre características opuestas. De esta forma el *interés* podrá ser más epistemológico o más ontológico, la *racionalidad* podrá ser más reflexiva o más comunicativa y el *significado*, producto de ambos, podrá resultar de tipo más personal (connotativo) o más científico (denotativo). Finalmente la *comprensión*, ubicada en una cuarta dimensión no graficable, será el resultado de componer vectorialmente las dos actividades consideradas (vectores A y B) con sus respectivos valores (cualidades) según las tres dimensiones consideradas, como se indica en el cuadro n° 5 de la página siguiente.

Cabe mencionar que la universalidad de la definición de comprensión descripta requirió desarrollar, luego, una especificación del concepto para poder estudiarla desde la intervención del profesor en las clases de cuántica. Este proceso de operacionalización nos llevó a dialogar con la obra de especialistas en didáctica de la física como Hodson (1994), Guridi y Salinas (1999), Moreira (2000), Astolfi (2001), Mortimer y Scott (2002), Petrucci et al. (2006), entre otros. Este tipo de cuestiones permitieron construir las dimensiones, fases e indicadores que presentamos en el capítulo IV o “Aspectos Metodológicos” de este informe.

**Cuadro n° 5. Las dimensiones de las clases comprensivas de FMyC**



**Eje X:** Interés epistemológico (1),  
Interés ontológico (2)  
**Eje Y:** Racionalidad científica -  
comunicación simbólica (3);  
Racionalidad escolar -  
comunicación conceptual (4)  
**Eje Z:** Significado personal (5) -  
Significado comunal o científico  
(6)



Las clases comprensivas de cuántica en el nivel escolar medio  
Libro I: La investigación  
Ana Isabel Iglesias

## **Introducción**

Este capítulo consta de cuatro partes. En la Parte I presentamos algunas precisiones metodológicas. En la Parte II describimos el contexto de la intervención didáctica (del Departamento Física y del CNBA)<sup>50</sup> y la descripción de los aspectos generales y comunes a todas las clases de Física de 6° año en Ciencias Exactas. En la Parte III ubicamos el análisis que incluye el microanálisis de la muestra de clases más comprendidas y de las entrevistas posclase, el macroanálisis de otras entrevistas (a los profesores y al jefe de laboratorio) y el de una encuesta de opinión tomada a los estudiantes al finalizar el proceso<sup>51</sup>. En la Parte IV ubicamos una síntesis de todo el proceso.

### **Parte I: Precisiones metodológicas**

#### **Tipo de estudio**

Hemos realizado el estudio de un caso didáctico, el del CNBA, desde un enfoque etnográfico, colaborativo, naturalista, no intervencionista y con influencias del interaccionismo simbólico<sup>52</sup> (Stake, 1999, Taylor y Bodgan, 2009: 24) sobre la enseñanza de la FC introductoria en el nivel secundario. Precisamos el significado que otorgamos a cada uno de estos conceptos. Naturalista significa que hemos observado aspectos de la vida del CNBA, del Departamento de Física y de las clases Física tal como se desarrollan habitualmente. No intervencionista significa que nuestro estudio ha tratado de perturbar lo menos posible el desarrollo habitual de la educación en ese colegio mediante la observación no participativa y una actitud empática frente a los hechos.

Goetz y LeCompte (1988: 41) señalan que:

*El objeto de la etnografía educativa es aportar valiosos datos descriptivos de los contextos, actividades y creencias de los participantes en los escenarios educativos. Habitualmente, dichos datos corresponden a los procesos educativos tal como estos ocurren naturalmente. Los resultados de dichos procesos son examinados dentro del fenómeno global; raramente se consideran de forma aislada.*

<sup>50</sup> Parte de estas cuestiones las incorporamos en el ANEXO.

<sup>51</sup> En el análisis hemos ido incorporando un análisis general de otros elementos que conformaron la “población de estudio” y el contexto.

<sup>52</sup> Según Blumer (1969, apud Taylor y Bodgan, 2009: 24) el interaccionismo simbólico atribuye máxima importancia a los significados sociales que las personas asignan al mundo dado que: a) las personas actúan respecto de las otras personas y de las cosas, b) los significados son productos sociales que surgen durante la interacción, c) los actores sociales asignan significados a sí mismos, a otras personas y situaciones mediante un proceso de interpretación (manipulación de significados), este proceso es intermediario entre los significados y la predisposición a actuar y la acción misma.



Para Litwin realizar una investigación colaborativa“...implica una nueva reflexión teórica respecto de las prácticas (...) donde se integran la investigación y la producción de conocimientos en la práctica”.

*La relación entre investigación y práctica no debe organizarse sobre la lógica de las relaciones entre experto y asesorados, entre uno que sabe y otro que escucha. Y ello porque la investigación no debe ponerse al servicio de la creación de especialistas que se apropian de (o que ignoran) el conocimiento práctico para sustituirlo por el “científico”, privilegiando los criterios valorativos de los académicos. La investigación debe existir no para suplir el conocimiento público, sino para dar voz al conocimiento del público. Las relaciones entre investigación y práctica no pueden establecerse bajo el supuesto de que quienes detentan el papel del investigador no están sometidos a los riesgos de los prejuicios e intereses, mientras que los legos si lo están. Deben establecerse, por el contrario, en el marco de comunidades de diálogo en las que se busca la relación entre los marcos normativos en los que se quiere profundizar y las prácticas específicas que se estudian. (Contreras, 1991, apud Litwin 1997: 75).*

### Selección del caso

La decisión de estudiar el caso del CNBA se construyó mediante un proceso selectivo basado en criterios tales como: a) existencia de colegios secundarios de Buenos Aires en los cuales se enseñase FC, b) factibilidad de acceso a dichas instituciones, y c) presencia de buenos profesores que estuviesen dispuestos a participar de una investigación didáctica. Es decir, tratamos de ubicar profesores que diesen buenas clases de Física, que respeten a sus alumnos, que ofrezcan una propuesta constructiva del conocimiento, que desarrollen en profundidad los tópicos centrales de la FC con una perspectiva provisional del conocimiento y que conozcan significativamente su área disciplinar. Inicialmente habíamos pensado realizar el estudio en dos o tres colegios de prestigio de la ciudad de Buenos Aires pero luego decidimos realizarlo sólo en el CNBA pues nos enfrentamos con diversas limitaciones entre las que destacan: la poca o nula presencia de la cuántica en las clases de Física del secundario, dificultades de accesibilidad a ciertas escuelas, restringida disponibilidad de tiempo y de otros recursos materiales como para abarcar escenarios distantes<sup>53</sup>.

---

<sup>53</sup> Hemos gestionado el ingreso a la Escuela Superior de Comercio C. Pellegrini, al Instituto Huergo, al Colegio Marín y al Colegio Nacional de Castelar pero con resultados negativos. En cambio si hemos accedido a la Escuela ORT donde realizamos dos actividades que, si bien no pertenecen a este estudio, sirvieron para identificar dificultades habituales en la enseñanza del tema.

Con la ayuda de profesores conocidos pertenecientes al CNBA, que actuaron como informantes clave, logramos ingresar a la institución y comenzar a realizar el trabajo de campo. En esta institución resultó fácil ubicar buenos profesores de Física que quisieran participar de nuestro estudio. Nos ocupamos especialmente de que la participación fuese voluntaria dado que esta característica se relaciona con la calidad de los datos y la credibilidad de las inferencias construidas.

*El grado en que los miembros de un grupo estén dispuestos a participar en una investigación marca límites y restricciones, a la vista de las cuales los etnógrafos tienen que decidir sobre el muestreo y la selección. (Goetz y LeCompte, 1988: 92)*

Cabe considerar que para poder estudiar la enseñanza de la cuántica en su ambiente natural debimos realizar el trabajo de campo en el momento en que el tema fue enseñado. En nuestro estudio esto ha significado que debimos realizar: la observación no participativa de las clases, las entrevistas post-clase a los profesores, la aplicación de cuestionarios de opinión a los estudiantes y la recolección de documentos curriculares, textos didácticos, informes y calificaciones de los estudiantes observados durante los meses de septiembre a noviembre del año 2005. La recolección de documentos digitalizados y de otras entrevistas (al Prof. Hardoy y al Jefe de Laboratorio) fue realizada durante los años siguientes.

### **Síntesis de las tareas realizadas**

Durante el trabajo de campo las principales tareas realizadas han sido las siguientes: 1) Gestionar el ingreso al CNBA a través de un colega y docente de la institución. 2) Realizar reuniones organizativas con profesores y director del Dpto. de Física. 3) Diseñar y compartir con los profesores participantes un plan de observación con descripción de los instrumentos de registro. 4) Observar, registrar y analizar situaciones de enseñanza de física en 3° y 6° año dentro y fuera de clase sobre distintos temas (clases teóricas de Mecánica, un laboratorio de Ondulatoria, una charla sobre Relatividad y una muestra extraescolar del Museo Didáctico en la Alianza Francesa). 5) Entrevistar a tres profesores, jefe y ayudante de laboratorio. 6) Hacer un análisis continuado de

los registros tomados de clases y entrevistas realizadas<sup>54</sup>, de documentos curriculares e institucionales considerados pertinentes y de las propias notas de campo. 7) Determinar la población de estudio (contiene las unidades de análisis) y construir una muestra intencional (conformada por las clases referidas a los temas de cuántica más comprendidos y por las entrevistas posclase). Al finalizar el trabajo de campo las principales tareas fueron: 8) Describir las clases, entrevistas, encuesta de opinión y documentos institucionales. 9) Desarrollar el marco teórico. 10) Microanalizar la muestra y macroanalizar la población de estudio. 11) Solicitar a los profesores participantes que analicen críticamente los avances e incorporar los señalamientos formulados<sup>55</sup> en la interpretación final. 12) Redactar y presentar el informe final.

### **Estrategias e instrumentos de registro**

Las principales estrategias de registro utilizadas fueron: observación de clases; desarrollo de entrevistas; revisión de documentos, textos y notas de campo; mapeo y fotografiado de escenarios. Los registros fueron escritos, audiograbados o fotografiados. Mientras que las principales situaciones que registramos y analizamos fueron el discurso – centralmente de los profesores y de alumnos expositores - dentro de las clases y a la salida de las mismas, durante el desarrollo de las entrevistas, las conversaciones formales e informales, también hemos construido significados importantes sobre la vida en las aulas, el departamento y el CNBA considerando impresiones personales e informaciones de otros elementos como: instalaciones edilicias, aparatos y dispositivos utilizados por los participantes, mensajes de correo electrónico intercambiados, documentos curriculares e institucionales (programas; textos didácticos usados por profesores y alumnos; guías de trabajos prácticos, de problemas y ejercicios; listados de calificaciones; informes de laboratorio; página WEB del CNBA, etc.). Los instrumentos de registro utilizados fueron: guiones de entrevistas, cassettes de audio, cuestionarios de opinión, cuaderno de notas o bitácora y la autora del estudio. La primera transcripción de las audiograbaciones fue realizada por dos técnicos y ajustadas por nosotras mediante la bitácora. La

---

<sup>54</sup> Desplegamos distinto tipo de entrevistas que hemos denominado organizativas, analíticas, selectivas y colaborativas. En el ANEXO incluimos una descripción de cada tipo de entrevista.

<sup>55</sup> En este proceso colaborativo participó sólo el profesor Hardoy porque Casas, al finalizar el curso de 6º del 2005, renunció a su cargo y no logramos luego comunicarnos con él. Otros profesores, colegas, directora y co-director colaboraron con críticas y revisiones del manuscrito.

observación de las clases fue de tipo no participativa y el registro del contenido fue textual y natural (Litwin, 2005).

### **Objetivos de investigación**

El objetivo general de este estudio es caracterizar didácticamente las clases de FMyC consideradas comprensivas por profesores y alumnos de un colegio secundario de la ciudad de Buenos Aires, en el año 2005, mediante la construcción de categorías teóricas.

Los objetivos específicos, de tipo descriptivo, focalizan la intervención didáctica y se orientan a:

1. Describir el conocimiento enseñado considerando aspectos teórico – filosóficos, y técnico-experimentales (Toulmin, 1977, Habermas, 1987, 1992, 2010; Hodson, 1994; Guridi et al., 1999; Moreira, 2000; Petrucci, 2006; entre otros).
2. Analizar la intervención didáctica en términos de caracterizar cómo el profesor gestiona el contenido de enseñanza (organiza y estructura) mediante prácticas cognitivas (propósitos, actividades, recursos, evaluación, métodos) y prácticas metacognitivas (interpretación y anticipación de obstáculos) (Rivière, 1996; Litwin, 1997; Hernández Hernández, 1997; Luque et al., 1997; Astolfi, 2004; entre otros).
3. Caracterizar la construcción social del conocimiento en las clases más comprensivas de FMyC considerando cómo interactúa el profesor con sus propios conocimientos, con los de los estudiantes, con su desarrollo profesional e institucional (tipo de preguntas, lenguajes, climas, resistencias) en el marco de la participación de los estudiantes. (Vygotsky, 1987, 1991; Wertsch, 1988; Porlan et al., 1998; Mortimer y Scott, 2002; Bolívar Botía, 2004, entre otros).

### **Hipótesis generales de trabajo**

Este estudio se ha guiado por varias hipótesis (Samaja, 1993: 211) de tipo didáctico que conjeturan lo siguiente:

- 1) Una caracterización adecuada de las clases de Cuántica del CNBA requiere integrar el microanálisis de la muestra con el macroanálisis de la población de estudio considerando la opinión de los profesores y estudiantes (Hodson, 1994; Litwin, 1997; Luque Lozano, 1997;

Hernández Hernández, 1997; Guridi et al., 1999; Porlán et al., 2002; Goodson, 2003; Bolívar Botía et al., 2004; Blanchard Laville, 1996; Astolfi, 2004, Litwin, 2005).

2) La comprensión de la Cuántica introductoria en el CNBA, desde la intervención didáctica, puede caracterizarse como un proceso socio-institucional de enculturación (Toulmin, 1977; Vygotsky, 1991; Wertsch, 1989; Habermas, 1992; Mortimer y Scott, 2002).

### **Sobre la selección y organización de los registros**

En etnografía los procesos de organización, selección y análisis se realizan continuamente desde el inicio de la investigación.

*La comparación, contrastación, agregación y ordenación son las tareas imperantes en el trabajo de campo; son las precursoras del establecimiento de los esquemas de clasificación para la organización de los datos.*(Goetz et al. 1988: 177)

Inicialmente habíamos probado un programa computacional denominado MAXDA para realizar el análisis, sin embargo, nos dimos cuenta que este modo de hacerlo nos ubicaba desde un lugar ético, distanciado y poco empático con los participantes y los hechos que inhibía una mirada comprensiva del conjunto (Taylor y Bogdan, 2009: 162)<sup>56</sup>. Decidimos, entonces, que la organización, selección y análisis de los registros la realizaríamos manualmente combinando la deducción de ideas a partir del marco teórico y la inducción analítica a partir de la clasificación y organización de un gran volumen de datos en bruto (Erickson en Wittrock 1989: 270).

### **Unidad de análisis**

El análisis etnográfico de los datos requiere describir la base de la cultura observada determinando qué, quiénes y cuáles serán los subconjuntos de registros de donde se podrán construir los datos necesarios o unidades de análisis (Goetz et al., 1988: 77).

*“... el establecimiento de unidades de análisis es una de las tareas importantes del tratamiento de datos etnográficos.” [Además] “... son medios de convertir los datos brutos en subconjuntos manejables. La elección o elaboración de unidades de análisis exige procedimientos formales e informales de exploración y codificación de los datos preliminares reunidos en la fase de diagramación. Este es el primer paso del análisis”.* (Ídem: 176).

<sup>56</sup> Taylor, S.J. y Bogdan, R. (2009) Introducción a los métodos cualitativos de investigación. Barcelona: Paidós.

H. Sampieri (2000: 296) señala que la unidad de análisis con significado completo más común es el ítem. En nuestro caso el tema de enseñanza es la unidad de análisis de las clases mientras que la sesión es la unidad de análisis de la entrevista. Ambos elementos constituyen segmentos de la intervención didáctica con significado propio y completo. No consideramos la clase como unidad de análisis pues en 6° año del CNBA cada clase de física es extensa -se lleva a cabo una vez por semana durante cuatro horas didácticas o dos bloques de 80 minutos con un recreo intermedio de 10 minutos- e incluye variado y amplio contenido disciplinar por lo cual segmentemos cada clase en tópicos y temas de la siguiente forma:

**Cuadro 6. Tópicos y temas de FM, número de clase observada, unidad del programa**

Tópico <sup>57</sup>	Tema	Clase n°		Unidad
		Prof. Hardoy	Prof. Casas	
1-Transmisión del calor por radiación	1.1- Radiación del cuerpo negro.	1	1	8
	1.2 – Leyes de Stefan – Boltzmann y de Wien	1	1	
	1.3- Ley de Rayleigh – Jeans	1	1	
	1.4- Ley de Planck	2	1	
2-Interacción radiación - materia	2.1- Efecto Fotoeléctrico	2	2	8
	2.2- Efecto Compton	3	2 y 3	
	2.3- Rayos X	3	3	
3- Formación y aniquilación de pares: electrón/positrón		-	4	8
4- Modelos atómicos	4.1- Modelos clásicos	3	4	8
	4.2 - Modelo de Bohr.	3	4	
5- Introducción a la Relatividad Restringida	5.1 - Experimento de Michelson - Morley	4	5	9
	5.2 – Transformación de Lorentz		5	
	5.3 - Efecto Doppler	4	5	

Cuando decimos clases de FM nos referimos a las instancias de enseñanza que incluyen tópicos y temas física cuántica introductoria (FC) y de relatividad restringida (RR). Los cinco tópicos observados, siguiendo la denominación utilizada por los profesores, son: 1) Transmisión del calor por radiación. 2) Interacción radiación – materia. 3) Formación y aniquilación de pares:

<sup>57</sup> Los títulos de tópicos y temas son los utilizados por los profesores y alumnos y coinciden con los del texto de P. Tipler (1989) *Física Moderna*. Reverté. Barcelona.

electrón/positrón. 4) Modelos atómicos. 4) Introducción a la Relatividad Restringida, y están distribuidos entre la octava y novena unidad del programa de sexto año ciencias. Estos tópicos corresponden a las unidades 8 y 9 del programa de física para sexto año de Ciencias Exactas del CNBA. Hemos observado todas las clases de FM desarrolladas por los profesores Hardoy y Casas en dos de los tres sextos año orientación en Ciencias Exactas. También hemos observado clases de Mecánica, de Ondulatoria, una charla especial sobre Relatividad y realizamos distintos tipos de entrevistas (comprensivas, preparatorias, analíticas, selectivas y colaborativas) que describiremos en otros ítems de este capítulo.

### **Población de estudio**

Los estudios etnográficos requieren identificar las poblaciones que se estudian usando criterios relevantes que permitan determinar los límites de los fenómenos a ser estudiados. En nuestro caso el marco teórico, las preguntas y objetivos de investigación determinaron criterios para limitar el universo de fenómenos empíricos. Selltiz (1974, apud Hernández Sampieri et al. 2000: 204) indica:

*“Una vez que se ha definido cuál será la unidad de análisis, se procede a delimitar la población que va a ser estudiada y sobre la cual se pretende generalizar los resultados. Así una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones.”*

Una interpretación comprensiva del concepto de población de estudio de Selltiz (ídem.) nos permitió generar lo que denominamos un espacio de análisis didáctico (Litwin, 2006). Este espacio es una totalidad configurada por los sujetos, objetos, acontecimientos y significados involucrados en los procesos de enseñanza que se estudian. Partimos de un espacio de análisis didáctico que incluyó **a)** 46 horas de clase<sup>58</sup> de Física, desarrolladas por tres buenos profesores del CNBA entre el 14/9/05 y el 21/11/05 y distribuidas de la siguiente forma: 3 clases de Ondulatoria, 32 de Cuántica y 5 de Relatividad en 6° año y 6 clases de Mecánica Clásica en 3° año; **b)** 20<sup>59</sup> entrevistas y una encuesta de opinión; **c)** notas de campo; **d)** documentos institucionales (programas curriculares, reglamentos de TPL -versiones del 2001, 2003, 2004,

<sup>58</sup> Hora de clase significa hora –cátedra que en la enseñanza secundaria argentina tienen una duración de 40’.

<sup>59</sup> Incluimos en este cálculo las 17 entrevistas que figuran en la tabla y las realizadas a la profesora de 3° año.

2005-, página WEB del Gabinete de Física del CNBA -consultada el 22-11-05-, fotos de aulas, laboratorios y otros lugares del CNBA); e) otros materiales como folletos de dispositivos usados en el laboratorio; fotocopias de textos usados por alumnos y profesores, informes de tareas de los alumnos.

Los cinco grupos de elementos mencionados fueron analizados en forma y profundidad diferente. Respecto de las clases de Cuántica se realizó la descripción de todas y el microanálisis de aquellas clases incluidas en la muestra. La observación, registro y posterior lectura de otras clases y charlas (como las de Mecánica, Ondulatoria y Relatividad) así como la lectura de documentos no específicos de Cuántica aportaron elementos fundamentales para describir la situación problemática (Borsotti, 2009: 34). Es decir sirvieron para poder conocer características generales de docentes, alumnos y escenarios de enseñanza de la Física en el CNBA y para preparar y ajustar las estrategias e instrumentos de registro. Incluimos elementos contextuales en el ANEXO mediante un relato acompañado de fotografías y planos de las aulas e instalaciones del CNBA. Respecto de las entrevistas, realizamos microanálisis de las entrevistas incluidas en la muestra y macroanálisis del resto de entrevistas y del cuestionario de opinión tomado a los estudiantes. Las notas de campo se analizaron en su totalidad, mientras que se realizó un análisis general y selectivo de los documentos institucionales y de otros materiales. No se analizaron los informes de tareas de los alumnos que serán considerados en otro trabajo posterior.

En el ANEXO figuran los guiones de las entrevistas y del cuestionario de opinión, la desgrabación de clases y de entrevistas. Cabe mencionar que en sucesivas instancias fuimos reconfigurando la población inicial pues, como indican Hernández Sampieri et al. (2000: 207), buscamos seleccionar elementos cada vez más representativos, es decir, tratamos de seleccionar aquellos que permitiesen profundizar el conocimiento sobre las clases comprensivas de Cuántica desde la perspectiva de la intervención didáctica.

En etnografía las tareas de selección y muestreo constituyen procesos dinámicos y continuos al no quedar las poblaciones y muestras definitivamente determinadas *a priori* del diseño.

*Aunque los etnógrafos y otros investigadores cualitativos (...) ejecutan tareas de definición de poblaciones, su interés por la selección y el muestreo no termina con la selección del grupo inicial de participantes, acontecimientos o características. Por el contrario para estos investigadores, los procesos de selección, no son algo estático, sino dinámico y secuencial (...) por consiguiente, la selección es en etnografía, un procedimiento abierto y ad hoc, y no un parámetro a priori del diseño. (Zelditch, 1962 en Goetz y LeCompte, 1988: 90).*



### **Construcción de la muestra intencional**

La gran cantidad de datos que conforman la población de estudio requirió la determinación de una muestra o subconjunto significativo de la población construido intencionalmente para estudiar las clases comprensivas de cuántica en profundidad. El procedimiento que seguimos para determinarla fue realizar, al finalizar todas las clases de FM, una consulta a los participantes mediante entrevistas a los profesores y la aplicación de un cuestionario o encuesta de opinión a todos los estudiantes participantes de ambos 6° años. El cuestionario tuvo la intención de seleccionar los temas más comprendidos y además averiguar los motivos e intereses que llevó a los estudiantes a dicha selección (ver ANEXO pág. 5 y 6).

En la selección de los temas más comprendidos participaron los estudiantes y los dos profesores cuyos votos se distribuyeron de la siguiente forma:

Cuadro n° 7. Selección del tema más comprendido

	Estudiantes	Casas	Hardoy	Totales
Átomo de Bohr	11		1	12
Efecto Compton	6			6
Efecto fotoeléctrico	5	1	1	7
Rayos X	4	1		5
Cuerpo negro	3			3

Haciendo la intersección de los tres conjuntos de votos resulta que Efecto fotoeléctrico (EF) y Átomo de Bohr (AB) son los temas más comprendidos. Nuestra opinión de observadoras confirma este resultado. Más adelante en este capítulo analizamos los comentarios que acompañaron la selección de los temas por parte de los estudiantes.

### **Parte II. Descripción**

La descripción del contexto de enseñanza, de la historia del departamento de Física y del CNBA está incorporada al ANEXO. Es una reconstrucción de elementos construidos tomados a partir de la inmersión en el colegio, el análisis de documentos institucionales recolectados y las notas de campo. Consideramos que son aspectos importantes pues que configuran la situación

problemática estudiada y proveen de sentido a la experiencia. (Stake, 1998; Borsotti, 2009; Luque Lozano, A. et al., 1997).

### **Descripción de las clases de física en 6°**

Describimos aspectos generales y comunes a todas las clases de física de 6° a partir de recuperar elementos generales de la primera entrevista preparatoria realizada con los dos profesores (p. 180 del ANEXO), nuestras observaciones y notas de campo.

En el CNBA funcionan tres cursos de 6° año con orientación en Ciencias Exactas que los docentes caracterizan como un “CBC<sup>60</sup> de lujo” pues son pocos los alumnos por división (entre 15 y 20).

Los temas de 6° año se distribuyen en nueve unidades. Los contenidos de las cinco primeras unidades corresponden al Ciclo Básico Común (CBC) para el ingreso a las carreras de Ingeniería y Ciencias Exactas de la UBA. La sexta unidad se refiere a Corriente Alterna, la séptima unidad es sobre Óptica Física, la octava contiene Teoría Cuántica. Mecánica Cuántica. Átomo de Hidrógeno y la novena unidad contiene Relatividad Especial. Los profesores Casas y Hardoy planifican las clases de 6° conjuntamente pero la extensión y profundidad en la presentación de cada tema la adaptan a cada grupo. En todos los 6° años los temas se enfocan conceptualmente e incluyen desarrollos matemáticos, los problemas son ejercicios de “lápiz y papel” que buscan la aplicación de los conceptos teóricos ya enseñados. Los profesores comentan que habitualmente, después de explicar los aspectos teóricos de un tema y de resolver los problemas más difíciles a modo de ejemplo, suelen proponer a los alumnos que preparen algunos de los problemas que figuran en la “Guía de Trabajos Prácticos y Problemas” y los presenten a sus compañeros<sup>61</sup>. Los Trabajos Prácticos de Laboratorio o Experimentales (TPL) en 6° no son obligatorios, como sí sucede de 2° a 5° año, y se desarrollan por decisión de cada docente. El profesor Casas suele desarrollarlos en contraturno pero durante el ciclo lectivo 2005 ha realizado algunos durante las clases de la mañana. El profesor Hardoy los desarrolla en la clase. Los temas desarrollados en los

<sup>60</sup> CBC es la sigla del Ciclo Básico Común para ingresar a la Universidad de Buenos Aires que en el CNBA, perteneciente a dicha institución, se dicta durante el primer cuatrimestre de los 6° años de todas las orientaciones.

<sup>61</sup> El modo de utilización de los problemas en 6° año también es variado. Por ejemplo durante las clases que observamos de Casas donde todas las exposiciones estuvieron a cargo del docente y no se desarrollaron problemas de la guía.

TPL son: Radiación térmica (basado en una experiencia realizada con estufas de cuarzo). Espectros (este TPL se realiza durante el desarrollo de la unidad denominada Óptica Física y previamente a la presentación de los temas de Física Moderna y Teoría Cuántica). Interpretación de Espectros (es un TPL no experimental y está basado en la resolución de problemas de lápiz y papel mediante la aplicación del modelo de Bohr). Efecto fotoeléctrico. Rayos X (experiencia demostrativa que en el curso de Casas se desarrolló junto con la teoría e incluyó la observación de rayos X, efecto fotoeléctrico y Compton).

En las clases se utilizan diversos recursos como: textos básicos, fotocopias de textos complementarios, láminas coloreadas, transparencias con impresiones de esquemas gráficos, de modelos y de dispositivos experimentales.

En el departamento de Física se realizan diversas actividades extraclase, por ejemplo, durante el trabajo de campo hemos asistido a una charla / conferencia dada por un físico especialista en Relatividad. La actividad fue organizada por los profesores de 6° año Ciencias, asistieron alumnos de los tres cursos de 6° que interactuaron vivamente con el expositor a través de preguntas y planteos teóricos sobre el tema. También asistimos a la presentación del Museo Didáctico de Física en la Alianza Francesa donde participaron alumnos, profesores y ayudantes de todo el Departamento de Física mostrando la amplitud y complejidad de conocimientos de Física que debieron desarrollar conjunta y colaborativamente para poner en funcionamiento antiguas máquinas existentes en el Departamento de Física del CNBA.

La evaluación del aprendizaje en todos los cursos y niveles del CNBA se implementa formalmente a través de pruebas parciales, finales, recuperatorios e informes escritos de TPL y de resolución de problemas establecidos en una guía general. Durante el trabajo de campo hemos podido observar que los profesores de 6° año implementan otras formas de evaluación -de tipo continua y procesual- y que el tema evaluación es una de las preocupaciones principales, como comentaremos durante la instancia de análisis.

Las clases de 6° del profesor Casas se desarrollan los lunes a la mañana y las del profesor Hardoy los lunes a la tarde. Son cuatro horas-didácticas de 40 minutos de 7:30 a 10:25 y de 12:45 a 15:40, respectivamente, con un recreo intermedio.

Los profesores de 6° que observamos tienen alrededor de 50 años, estudiaron juntos en el Instituto Joaquín V. González y trabajan hace muchos años en el CNBA. Casas y Hardoy enseñan Física en cursos de distintos niveles y dan clases en 6° por tercer año consecutivo. Hardoy, además es el director del departamento de Física desde hace dos años.

Casas comenta que el clima del colegio es muy bueno, que los estudiantes de los 6° de Ciencias en general son muy buenos para aprender Física y que el departamento cuenta con buenos ayudantes de laboratorio pues todos son estudiantes de Física o de Ingeniería. Estos comentarios serán retomados en el análisis posterior.

### **Descripción de las entrevistas realizadas**

Implementamos distinto tipo de entrevistas. Las entrevistas comprensivas se desarrollaron antes de iniciar el diseño de esta investigación con el propósito de rescatar elementos claves de una experiencia didáctica llevada a cabo en dos cursos de la escuela ORT II sobre la enseñanza introductoria de Cuántica. El análisis del material recabado permitió establecer criterios para elegir la escuela y configurar la muestra intencional de clases comprensivas de Cuántica.

Las entrevistas preparatorias u organizativas las implementamos con el propósito de anticipar cuestiones generales y recabar información necesaria para realizar la observación de clases, las entrevistas, la recolección de documentos institucionales y de otras fuentes de información contextual.

Las entrevistas analíticas son de dos tipos: las posclase y las generales. Las analíticas posclase las efectuamos con el propósito de conocer el significado que para el profesor tiene la intervención didáctica desarrollada durante las clases. Las analíticas generales buscaron conocer opiniones sobre la función del laboratorio en la enseñanza de la Física en el CNBA y sobre el desarrollo profesional del profesor de física en esa institución.

Las entrevistas selectivas las utilizamos al finalizar el conjunto de clases de FM con el objetivo de conocer cuáles eran las clases más comprendidas desde la perspectiva de los profesores.

Las entrevistas colaborativas corresponden a instancias de análisis didáctico crítico y compartido entre profesores y observadora. Las implementamos con el propósito de que los profesores participantes señalen elementos para modificar o aceptar los avances de la investigación que

podimos ir construyendo sobre la realidad estudiada, Es decir, estas entrevistas buscaron que los profesores participantes evalúen los universales concretos y significados creados por nosotros.

En la tabla siguiente listamos cronológicamente las entrevistas realizadas, indicamos el tipo y nombramos los entrevistados.

### **Cuadro n° 8. Entrevistas por fecha, tipo y entrevistados**

Fecha	Tipo de entrevista	Entrevistados
2004	Comprensivas (*)	Profesores de ORT
6-7-05	Preparatoria (*)	Casas y Hardoy
14-9-05	Preparatoria (*)	Ayud. de Laboratorio
3-10-05	Analítica posclase	Casas y Hardoy
17-10-05	Analítica posclase	Casas
17-10-05	Analítica posclase	Hardoy
24-10-05	Analítica posclase	Hardoy
31-10-05	Analítica posclase	Hardoy
31-10-05	Analítica posclase	Casas
7-11-05	Analítica pos y selectiva	Casas
14-11-05	Analítica pos y selectiva	Hardoy
14-11-05	Analítica posclase	Casas
25- 4 -2006	Selectiva	Hardoy
9-5-06	Analítica general	Hardoy
9-5-06	Analítica general	Durán
18-9-07	Colaborativa	Prof. Hardoy

Durante la administración de las entrevistas variaron los participantes, los objetivos y guiones pero el encuadre general fue similar en todos los casos e incluyó la comunicación de los temas a tratar, las pautas de privacidad del contenido, el tiempo de duración y el número de sesiones, el escenario de realización, el tipo de interactividad, las formas de registro, de devolución y el uso de los resultados. Hemos utilizado una guía orientativa de preguntas o cuestionario abierto y siempre hemos intentado presentar una actitud flexible, empática y respetuosa ofreciendo las máximas posibilidades de expresión a los entrevistados.

La mayoría de las sesiones fueron presenciales y se desarrollaron en el ámbito del Departamento de Física. La duración de cada entrevista varió entre 30 y 60 minutos cada una aproximadamente.

### **Parte III. Análisis**

Realizamos dos tipos de análisis de la intervención didáctica, uno que denominamos microanálisis y lo aplicamos sobre la muestra intencional y otro que denominamos macroanálisis lo aplicamos a todas las entrevistas realizadas y al cuestionario de opinión.

### **Microanálisis de la muestra intencional**

Realizamos un análisis detallado de las clases de los profesores Casas y Hardoy sobre los temas más comprendidos de cuántica (EF, AB) y sobre las entrevistas analíticas posclase. Para realizarlo debimos construir dimensiones, fases e indicadores que involucró procesos de selección, contraste e integración de conceptos y criterios provenientes de una interacción creciente entre teoría, empiria, colaboración crítica de colegas y nuestra experiencia docente. Los procesos que presentamos a continuación refieren a la construcción de las dimensiones, fases e indicadores; a la definición de cada indicador -destacando aspectos orientados hacia la comprensión de los estudiantes-; a la ejemplificación de cada indicador mediante la presentación de citas seleccionadas de los registros empíricos de la muestra.

### **Construcción de dimensiones, fases e indicadores**

El análisis descriptivo de los datos empíricos se basa en una combinación de los principales constructos teóricos desplegados en el capítulo III sobre comprensión y una lectura reiterada, amplia y empática del material empírico que fue cruzando la información recogida, detectando elementos regulares y destacando otros de baja frecuencia pero que translucieron información importante para este estudio. Organizamos tres dimensiones: conocimiento físico enseñado (dimensión A), actuación del profesor (dimensión B) y construcción social del conocimiento (dimensión C) que incluyen fases<sup>62</sup> y éstas, a su vez, incluyen indicadores. Los indicadores fueron redefinidos operacionalmente a lo largo de todo el estudio con el propósito de centrar la atención en aquellos aspectos de la intervención didáctica que se orientan a la comprensión de los estudiantes. La dimensión A incluye elementos constitutivos y las dimensiones B y C incluyen

---

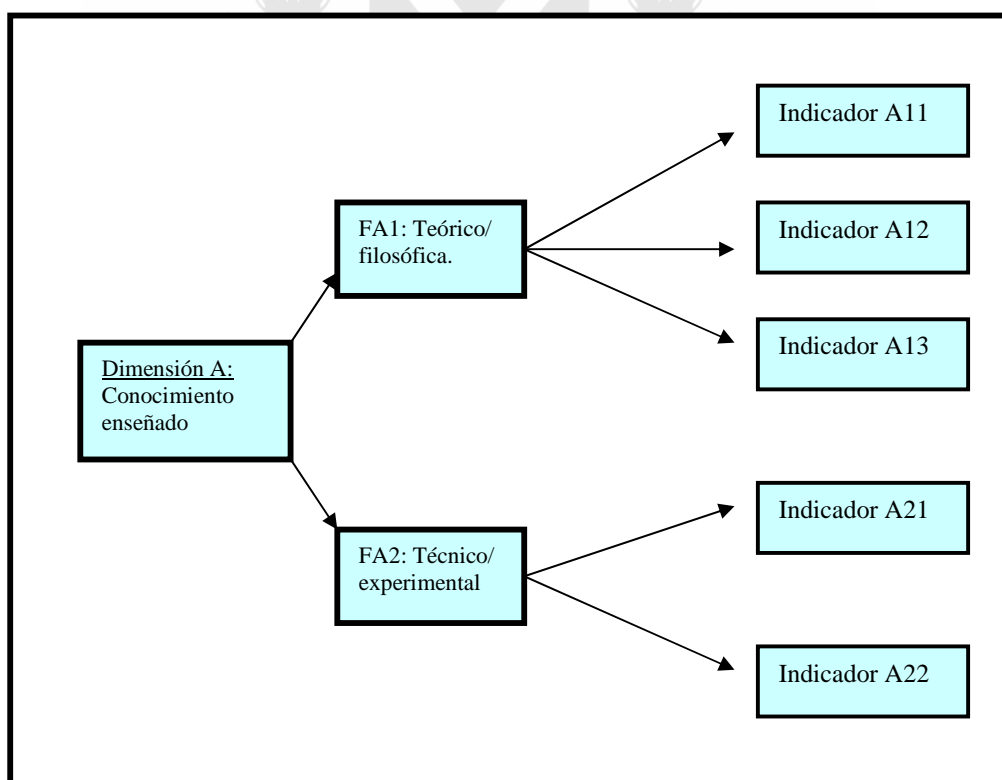
<sup>62</sup> Fases son configuraciones diversas que estructuran e integran un proceso no como una agregación de pasos (Samaja, 1993: 210).

acciones: la B de tipo instrumental (contenidos y modos de trabajo) y la C señala particularmente acciones comunicativas (o lenguaje) según la clasificación de Habermas (1992, 2010; apud Gabas, 1980). Las definiciones siguientes y su organización en tablas o tipologías contienen los descriptores necesarios para analizar el conocimiento físico enseñado focalizando la intervención didáctica en las clases introductorias de cuántica del CNBA (Borsotti, 2009: 233).

### **DIMENSIÓN CONOCIMIENTO FÍSICO ENSEÑADO (A)**

Dentro de la dimensión A consideramos dos fases y diversos indicadores dentro de cada una según el siguiente esquema que se repite en las dimensiones B y C.

**Cuadro n° 9. Organización de dimensiones, fases e indicadores**



La fase teórico-filosófica (A1) incluye tres indicadores que aluden a elementos ontológicos (A11), elementos epistemológicos (A12), elementos axiológicos (A13), y la fase técnico-experimental (A2) incluye indicadores que aluden a los trabajos prácticos de laboratorio (indicador A21) y a otro tipo de dispositivos experimentales y técnicos (indicador A22) presentes en las clases de física del CNBA.

Definimos los indicadores de la dimensión A combinando criterios, conceptos y valores sobre la producción, adquisición y desarrollo de conocimientos físicos teóricos y empíricos consensuados en la comunidad de didactas (Salinas y Cudmani, 1992; Hodson, 1994; Lombardi, 1997; Klimovsky, 1999; Guridi y Salinas, 1999; Petrucci, Ure y Salomone, 2006) explicitados en Cap. III que combinamos con reiterados análisis inductivos del material empírico.

### **Fase A1: Teórico-filosófica**

En esta fase incluimos tres indicadores que refieren a situaciones y elementos, teóricos y metodológicos, constitutivos de la enseñanza de la Física.

**A11 Elementos ontológicos:** El indicador refiere a la naturaleza de los objetos científicos enseñados mediante términos empíricos (designan entidades que pueden conocerse mediante algún procedimiento notorio sin soportes conceptuales) y términos teóricos (designan entidades que pueden conocerse mediante el uso de instrumentos y estrategias que están más allá de la observación y de la práctica directa). Los elementos ontológicos aluden a una concepción del mundo físico como un universo cognoscible y accesible al conocimiento.

**A12 Elementos epistemológicos:** El indicador alude a situaciones que orientan a reflexionar sobre aspectos metodológicos de la producción y de la enseñanza del conocimiento físico: ¿cuál es el fenómeno?, ¿qué se postula?, ¿cuáles son los datos?, ¿cuál es el problema?, ¿cuál es la relación entre teoría y práctica?

**A13 Elementos axiológicos:** El indicador refiere a situaciones orientadas a reflexionar sobre los valores y principios éticos que sostienen la labor científica y la enseñanza tales como honestidad intelectual; actitud frente a las dificultades del trabajo científico; el lugar de la autoridad y de las nuevas ideas.



### **Fase A2 Técnico – metodológica**

Los indicadores de esta fase refieren a actividades y situaciones vinculadas con la enseñanza de la metodología científica en Física.

**A21 Trabajo práctico de laboratorio:** El descriptor refiere a situaciones donde el dispositivo TPL se utiliza o se menciona para: ilustrar la teoría sin involucrar mediciones, entrenar en métodos y procedimientos científicos, descubrir en forma autónoma o para reflexionar sobre dichas situaciones.

**A22 Otros referentes experimentales y técnicos:** El indicador alude a la utilización de dispositivos didácticos diferentes al TPL en el tratamiento del contenido tales como problemas y ejercicios de “lápiz y papel”, elementos gráficos, cálculos de errores experimentales, roles en un equipo de trabajo, cuidado de materiales, presentación de informes.

### **DIMENSIÓN ACTUACIÓN DEL PROFESOR (B)**

Dentro de esta dimensión B incluimos fases e indicadores referidos a las acciones instrumentales pensadas o desplegadas por el profesor para la enseñanza introductoria de la cuántica en el CNBA y particularmente orientadas a la comprensión. Definimos los indicadores a partir de combinar criterios y conceptos tomados de las propuestas de: Vega, 1994; Litwin (1997), Rivière (1996), Hernández Hernández (1997), Luque et al. (1997), Toulmin (1977), Astolfi (2004), Martí, E. (1999) y de la reflexión reiterada sobre el material empírico (clases y entrevistas).

Las fases consideradas son: tratamiento del contenido (B1); prácticas cognitivas (B2) y prácticas metacognitivas (B3).

### **Fase B1 Tratamiento del contenido**

Esta fase contiene indicadores que describen el qué y cómo el profesor organiza, despliega y reflexiona acerca del tratamiento de contenidos cuánticos.

**B11 Lógica y macroestructura:** El indicador señala la prevalencia o combinación de distintas lógicas en el tratamiento general del tema tales como: *lógica de los conceptos* (con secuencias de contenido basadas en conceptos científicos y epistemológicos de tipo “universitario”), *lógica de la acción* (secuencia de contenido fundada en relaciones de causalidad e implicación temporal) o *lógica pedagógica* (secuencias de contenido en función de un plan de enseñanza y aprendizaje). Como así también señala modos de estructuración de la información en macroestructuras orientadas hacia la comprensión como las de “problema-solución” (macroestructura que plantea una cuestión y el desarrollo del tema conduce a una o varias soluciones) o como “proceso causal” (macroestructura que plantea relaciones del tipo causa – efecto o antecedente – consecuente).

**B12 Organización del contenido:** El indicador refiere a situaciones/ enunciados que señalan formas habituales de introducir el contenido físico como la descripción, explicación, comparación, ejemplificación, repetición o recapitulación.

**B13 Relaciones:** Este indicador señala dos tipos de vínculos explícitos en el tratamiento didáctico del contenido físico: R1 o *relación interna* es la que alude cuestiones de justificación y evolución histórica de conceptos (corresponde a vínculos característicos del contexto de justificación<sup>63</sup>). R2 o *relación externa* refiere a conexiones del contenido con procesos de creación y de aplicación del conocimiento cuántico a otros campos como el tecnológico, social, estético, artístico, histórico, cotidiano con la intención de aproximar, familiarizar y diversificar.

### **Fase B2 prácticas cognitivas**

En esta fase consideramos acciones instrumentales cuyos indicadores aluden a elementos tradicionales del análisis didáctico como propósitos, actividades, recursos, modos de evaluación y métodos.

**B21 Propósitos:** Este indicador señala situaciones que aluden a las intenciones y fines del profesor orientados particularmente a: 1. utilizar los significados connotativos (personales, subjetivos) de los estudiantes y vincularlos con los significados denotativos (científicos,

---

<sup>63</sup> Contexto de justificación aborda cuestiones de validación, autenticidad, confiabilidad de las teorías y de los modelos enseñados. Contexto de descubrimiento está orientado a procesos de creación de hipótesis, ideas o teorías relacionando su gestación con circunstancias personales, psicológicas, sociológicas, políticas o económicas. Contexto de aplicación en el que se elabora la utilidad, perjuicio o beneficio social de un conocimiento científico (Reinchenbach apud Klimovsky, 1999: 29-30).

comunales, objetivos), 2. recuperar o crear situaciones para conectar conocimientos académicos nuevos y previos (aproximar), 3. reiterar secuencias para acercar las nuevas ideas con esquemas conocidos (familiarizar), 4. variar contextos y ejemplos (diversificar), 5. trabajar colaborativamente y dar soportes sencillos a los procesos individuales de internalización (negociar significados), 6. transferir la responsabilidad a los estudiantes en el uso de nuevas ideas (traspasar el control).

**B22 Actividades:** El indicador señala intervenciones del profesor que aluden al diseño y desarrollo de tareas particularmente orientadas a desarrollar la comprensión.

**B23 Recursos:** El indicador alude a las formas de utilización de materiales, como transparencias, gráficos, láminas, lecturas, que se orientan a facilitar la comprensión.

**B24 Evaluación:** El indicador refiere tanto a acciones orientadas al control formal del desarrollo de la materia (presentación de ejercicios, cumplimiento de horarios, asistencia) como a la estimulación, valoración y reflexión de procesos que brindan un andamiaje para la comprensión.

**B25 Métodos:** Mediante este descriptor señalamos modos generales de conducción de la clase. Hacen referencia a conjuntos amplios de acciones (secuencias de intervenciones) orientadas hacia la comprensión independientemente de que dichos modos estén dirigidos más hacia el alumno (psicocéntricos) o más hacia el conocimiento (logocéntricos)<sup>64</sup>.

### **Fase B3 Prácticas metacognitivas**<sup>65</sup>

Esta fase alude a acciones instrumentales del profesor que pretenden orientar a los estudiantes a conocer estrategias mentales que resignifican el propio aprendizaje de la física y también refiere a acciones que anticipan y operacionalizan posibles obstáculos de los estudiantes relacionados con

<sup>64</sup> Hernández Hernández (1997: 303) caracteriza los métodos constructivistas habitualmente desplegados por los profesores en un continuo que va entre aquellos centrados en el objeto (logocéntricos) y en el sujeto (psicocéntricos). Definimos los dos más utilizados por los profesores que analizamos. Expositivo-suscitador: predomina la lección magistral que conecta con los conocimientos y experiencias del auditorio, alumno participa internamente. Es útil para no expertos de cursos superiores suficientemente motivados. Interactivo-productivo: Enseñanza tipo vygotskyana. Interacción profesor – alumnos. El profesor informa, estimula, canaliza, sintetiza. Alumno: busca, explora, pregunta, expone.

<sup>65</sup> Martí, E. (1999: 111), en Pozo y Monereo (comp.). El aprendizaje estratégico. Madrid: Aula XXI. Santillana, diferencia las estrategias de aprendizaje y las de metacognición. En las primeras prevalecen *técnicas, habilidades o hábitos* que involucran secuencias automatizadas de acciones y en las segundas *estrategias* que requieren de acciones planificadas. Así un pensamiento o acción es metacognitivo cuando requiere que el sujeto realice una actividad intencional y controlada (prever qué y cómo) para encadenar varios procedimientos orientados a lograr un objetivo determinado.

los conceptos cuánticos.

**B31 Más allá de las fórmulas:** El indicador señala situaciones donde los profesores alientan a los estudiantes a “pensar más allá” de las fórmulas y de la descripción de procesos, es decir a interpretar situaciones y metamensajes.

**B32 Obstáculos conceptuales:** El descriptor alude a situaciones donde el profesor operacionaliza sus supuestos acerca de las dificultades conceptuales que suelen presentar los alumnos de 6° año del CNBA durante la introducción de temas de relacionados con cuántica.

### **DIMENSION CONSTRUCCIÓN SOCIAL DEL CONOCIMIENTO (C)**

La construcción social del conocimiento y su exteriorización a través del discurso es un elemento constitutivo de toda intervención didáctica y, por lo tanto, atraviesa todas las dimensiones con que se encare un estudio sobre la enseñanza. Desde esta perspectiva en esta dimensión sólo tratamos de describir formas específicas de la acción comunicativa (Habermas, 1988, 2010) orientadas a la comprensión. Es decir, describimos procesos discursivos de construcción de significados orientados a aproximar, familiarizar, diversificar, negociar significados y traspasar el control de conocimientos cuánticos a los estudiantes.

Las fases e indicadores fueron diseñados articulando elementos teóricos propuestos por Vygotsky (apud Wertsch, 1988); Litwin, 1997; Luque Lozano et al. 1997; Habermas, 1988, 1992, 2010; Klimovsky, 1999; Moreira, 2000; Mortimer y Scott, 2002; Astolfi, 2004; nuestra propia experiencia y la lectura reiterada del material empírico recogido en clases y entrevistas. Las tres fases consideradas son: C1) tipos de preguntas, C2) otras prácticas comunicativas del profesor, C3) modos de participación de los estudiantes y cada una incluye varios indicadores. Es necesario aclarar que cuando el desarrollo de la exposición de un tema es compartida, como en el caso de las clases de Hardoy, los indicadores de las fases C1 y C2 señalan tanto intervenciones del profesor como del expositor – alumno. Esto sucede en particular cuando el expositor logra asumir la conducción de la clase.

#### **Fase C1 Tipos de preguntas**

La fase reúne cuatro indicadores que señalan acciones comunicativas interrogativas no burocratizadas (Litwin, 1997: 89)<sup>66</sup> orientadas a estimular o apreciar particularmente procesos comprensivos.

**C11 Preguntas aproximativas:** aluden a interrogaciones del profesor o expositor que buscan conectar conocimientos cuánticos con previos.

**C12 Preguntas familiarizadoras:** aluden a interrogaciones del profesor o expositor orientadas a vincular esquemas sencillos, conocidos, subjetivos, connotativos con esquemas complejos, nuevos, objetivos, denotativos.

**C13 Preguntas diversificadoras:** aluden a interrogaciones del profesor o expositor orientadas a ejemplificar y variar situaciones.

**C14 Preguntas aclaratorias:** el indicador alude a interrogaciones del profesor o expositor que buscan negociar significados, generar ajustes, recapitulaciones y síntesis.

### **Fase C2 Otras prácticas comunicativas del profesor**

Esta fase reúne indicadores que señalan otro tipo de intervenciones discursivas utilizadas por el profesor o expositor en las clases favorecedoras de la comprensión de contenidos cuánticos.

**C21 Lenguaje ficcional:** El descriptor señala el empleo intencional por parte del profesor de prácticas comunicativas metafóricas, analógicas y conjeturales.

**C22 Proceso cognitivo propio:** Mediante este descriptor señalamos interacciones discursivas en las cuales el profesor transparenta sus modos de conocer y reflexionar sobre el contenido específico y didáctico de las clases.

**C23 Múltiples lenguajes:** El indicador permite señalar el uso de distintos modos en el lenguaje social de las clases: MC (modo conceptual o extenso), MS (modo simbólico o abreviado) y MG (modo gráfico). El MG, utilizado en las clases alude a tres formas de representar simbólicamente que son: esquema experimental<sup>67</sup> (bosquejo gráfico de aparatos e instalaciones para la

<sup>66</sup> Litwin (1997: 89) se preocupa por la “burocratización de la pregunta en los espacios escolares”, así no todas las formas gramaticales utilizadas en las clases darían cuenta de formularse verdaderas preguntas sino más bien son formas interrogativas para enseñar a pensar, aclarar, ampliar.

<sup>67</sup> Expresión utilizada por Alonso y Finn (1986) Física. Fundamentos cuánticos y estadísticos. Vol. III: 13. México: Addison-Wesley.

observación de fenómenos), esquema cartesiano (gráfico geométrico que relaciona conceptos físicos variables y registros empíricos mediante sistemas de ejes coordenados perpendiculares), esquema de modelo (dibujo de modelos teóricos: átomos, núcleos, partículas). Señalamos el uso simultáneo de los tres modos -MC, MS y MG- como proceso favorecedor de la construcción conceptual pues provee de referencias, significados y significantes<sup>68</sup>.

**C24 Clima:** el indicador alude a contextos discursivos con contenidos cuánticos que brindan apoyo o andamiaje (estimulan expectativas positivas, realzan afectivamente el tema, potencian la participación y la colaboración), aproximan (reconducen malentendidos y errores), familiarizan (vinculan con esquemas conocidos), diversifican (ejemplificando y variando situaciones), negocian significados (suscitando cuestionamientos y reestructuraciones), traspasan el control (promoviendo el uso autónomo del conocimiento).

### **Fase C3. Modos de participación de los estudiantes**

En esta fase incluimos descriptores que señalan algunas formas que despliegan los estudiantes en las clases cuando tratan de comprender conocimientos cuánticos. Dado que el foco de este estudio es la intervención del profesor, estos aspectos los señalamos sólo como complemento desde el hecho que leyendo lo que dicen los alumnos se puede hacer una suerte de "corroboración" de lo que analizamos sobre los docentes.

**C31 Preguntas:** El indicador señala enunciados interrogativos (de los alumnos y no de los expositores) cuya intención principal es conectar conocimientos cuánticos con conceptos previos, vincular con esquemas conocidos, ejemplificar y ampliar situaciones, negociar significados, asumir el control.

---

<sup>68</sup> Concepto: Según Vergnaud (1990, apud Astolfi, 2001: 35) pragmáticamente un concepto está formado por tres conjuntos: a) el de las situaciones que le dan sentido (*referencia*), b) el de los invariantes en los que descansa la operacionalidad de los esquemas (*significado*), c) el de las formas lingüísticas y no lingüísticas que permiten representar simbólicamente el concepto, sus propiedades, las situaciones y los procedimientos de tratamiento (*significante*). No hay una correspondencia biunívoca entre significantes y significados, ni entre significados y referencias, en consecuencia el significado no puede reducirse a los significantes ni a las referencias.

**C32 Cognición:** El indicador señala enunciados producidos por los estudiantes (expositores y alumnos) que aluden al desarrollo de descripciones, explicaciones, comparaciones, ejemplificaciones, cálculos.

**C33 Resistencia:** El indicador señala interacciones discursivas de evitación a la participación y de confusión conceptual por parte de los estudiantes. Señalamos estas situaciones sólo desde la perspectiva de problematizar si el profesor las encara como dificultades de comprensión de los estudiantes en relación con su intervención.

En la tabla siguiente presentamos en forma sintética los indicadores, la finalidad de su referencia y un ejemplo genérico de cada uno.

**Cuadro n° 10. Indicador, finalidad y ejemplo**

	<b>INDICADOR</b>	<b>FINALIDAD<sup>69</sup></b>	<b>EJEMPLO</b>
A11	Elementos ontológicos	Señalar naturaleza de los objetos enseñados (términos empíricos y términos teóricos)	TE: cronómetro, cátodo TT: modelo, átomo
A12	Elementos epistemológicos	Indicar aspectos metodológicos de la producción y de la enseñanza del conocimiento físico.	Relación permanente entre empiria y teoría.
A13	Elementos axiológicos	Expresar valores y principios éticos que sostienen la labor científica y su enseñanza.	Honestidad intelectual.
A21	Trabajo práctico de laboratorio	Indicar funciones del TPL.	Ilustración de la teoría sin involucrar mediciones.
A22	Otros referentes experimentales y técnicos	Apuntar dispositivos didácticos diferentes al TPL.	Problemas de “lápiz y papel”.
B11	Lógica y macroestructura	Marcar modos generales de argumentación y de estructuración del contenido.	Lógica de la acción: centrada en relaciones de causalidad e implicación temporal. Lógica pedagógica: centrada en un plan de enseñanza y aprendizaje.
B12	Organización del contenido	Insinuar formas de tratamiento específico de conceptos cuánticos.	Descripción, explicación, comparación, repetición, recapitulación.
B13	Relaciones	Apuntar distintos tipos de vínculos en el tratamiento del contenido.	Relación interna (R1) alude a la justificación y evolución histórica de conceptos. Relación externa (R2) refiere a procesos de

<sup>69</sup> Resaltamos en todos los casos los elementos y procesos que se orientan a la comprensión.

			creación y de aplicación del contenido.
B21	Propósitos	Indicar las intenciones y fines del profesor.	Intención de ejemplificar.
B22	Actividades	Señalar tareas pensadas o implementadas.	Conferencia a cargo de un experto en relatividad.
B23	Recursos	Mencionar formas de uso de los recursos materiales.	Formas de utilización de materiales como transparencias, textos, etc.
B24	Evaluación	Apuntar acciones de control formal (a) y de brindar soportes (b)	(a) Apreciar el desarrollo de ejercicios. (b) Apreciar el tipo de preguntas formuladas
B25	Métodos	Señalar modos generales de conducir la clase orientados a la comprensión.	Expositivo-suscitador, interactivo-productivo
B31	Más allá de las fórmulas	Insinuar situaciones y metamensajes que alientan a reflexionar sobre las ecuaciones y procesos.	Prof.: Muchachos no bombardeen más con las fórmulas...
B32	Obstáculos conceptuales	Señalar la forma de operacionalizar los supuestos del profesor sobre dificultades conceptuales y procesuales.	Prof.: Recuerden el TPL de 4° con el banco giratorio...
C11	Preguntas aproximativas	Señalar interrogaciones del profesor o expositor que buscan conectar conocimientos académicos cuánticos con conceptos previos.	Prof. ¿Qué es la energía cinética por definición?
C12	Preguntas familiarizadoras	Indicar interrogaciones del profesor o expositor orientadas a vincular conocimientos cuánticos con esquemas conocidos.	Prof. ¿Qué pasa con este fenómeno? Por eso se llama foto-eléctrico, foto – luz, electricidad – electrones.
C13	Preguntas diversificadoras	Apuntar interrogaciones del profesor o expositor orientadas a ejemplificar, variar ampliar situaciones.	Prof: ¿Se animan a exponer el gráfico Uds.?
C14	Preguntas aclaratorias	Señalar interrogaciones del profesor o expositor orientadas a generar ajustes, recapitulaciones y síntesis.	Prof. ¿Qué hicimos en el experimento?
C21	Lenguaje ficcional	Señalar el empleo de formas discursivas metafóricas, analógicas y conjeturales.	Prof.: Los osciladores van acumulando energía como quien va guardando agua en una cisterna.
C22	Proceso cognitivo propio	Señalar interacciones discursivas que transparentan modos de conocer del profesor.	Prof: Les cuento cómo lo pienso yo... (se refiere a cómo piensa un principio clásico)
C23	Múltiples lenguajes	Señalar el uso de distintos modos de usar el lenguaje.	<b>MC:</b> modo conceptual o extenso <b>MS:</b> modo simbólico, abreviado, con ecuaciones <b>MG:</b> modo gráfico mediante esquemas
C24	Clima comprensivo	Indicar conjuntos discursivos y gestuales amplios orientados a la comprensión.	Situaciones que aluden a brindar estímulo y apoyo a los estudiantes.
C31	Preguntas	Señalar enunciados interrogativos de los alumnos orientados a comprender.	Alumno: ¿No habría ninguna clase de capacidad de que todos los electrones puedan saltar al mismo tiempo?
C32	Cognición	Apuntar enunciados de los alumnos	Alumno:...Para órbitas muy grandes, o sea



		orientados a comprender.	para valores y números cuánticos muy grandes, qué me va a pasar? Pasa eso que puse ahí.
C33	Resistencia	Mencionar situaciones que aluden a dificultades de comprensión del E. en relación a la intervención del P.	Presencia de estudiantes que evitan participar en la clase.

A continuación incluimos un glosario con los términos más utilizados en el análisis y algunas convenciones que pueden facilitar la lectura de los registros y ejemplos.

## Glosario

Aproximar: conectar los conocimientos y conceptos académicos nuevos con los previos.

Acción comprensiva: Didácticamente es una acción instrumental o comunicativa orientada a aproximar, familiarizar, diversificar situaciones, negociar significados y traspasar el control del conocimiento.

Comparación: cotejo de conceptos y situaciones.

Comprender: (plano fenomenológico y pragmático) proceso de “aprehensión subjetiva del significado” que puede facilitarse o dificultarse por un elemento subjetivo y emocional relacionado con el sentido y los motivos personales que se establecen frente al conocimiento, y por otro elemento de tipo lógico y didáctico relacionado con la estructura, la claridad y el orden en la presentación de dicho conocimiento. (Luque Lozano et al., 1997: 324)

Comprender: (plano cognitivo informacional) es “un proceso cognitivo de alto nivel que requiere la intervención de los sistemas de memoria y atencionales, de los procesos de codificación y percepción, y en fin, de operaciones inferenciales basadas en los conocimientos previos y en sutiles factores contextuales.” (M de Vega, 1994: 367).

Concepto: pragmáticamente está formado por tres conjuntos: a) de las situaciones que le dan sentido o *referencia*, b) de los invariantes, que son los elementos donde descansa la operabilidad de los esquemas o *significado*, c) de las formas lingüísticas y no lingüísticas que permiten representarlo con sus propiedades, situaciones y procedimientos de tratamiento o *significante*. No hay una correspondencia biunívoca entre significantes y significados ni entre

significados y referencias en consecuencia el significado no puede reducirse a los significantes ni a las referencias. (Vergnaud, 1990, apud Astolfi, 2001: 35).

Conocimiento académico: saber <sup>70</sup>construido en situación escolar.

Descripción: referencia a un sistema u objeto en términos de sus constituyentes, características, condiciones en que puede manifestarse, o de los desplazamientos espacio – temporales que experimenta.

Diversificar: ejemplificar, ampliar y variar situaciones, significados, intereses y racionalidades

Ejemplificación: presentación de especímenes de otro contexto.

Esquemas: entidades que se adquieren a partir de la experiencia personal en situaciones recurrentes. Si son visuales se denominan *marcos* (ej. Habitación), si se refieren a situaciones convencionales se denominan *guiones* (Ej: escribir una carta); si se refieren a contenidos interpersonales y convencionalismos se denominan *esquemas sociales* (Ej: ideologías, creencias). Son eficaces en la interpretación de los efectos del contexto. Proporcionan “sentido” dando una apariencia de “plausibilidad” al flujo de los acontecimientos (de Vega, 1994).

Explicación: importación de algún modelo teórico o mecanismo para referirse a un fenómeno o sistema específico.

Familiarizar: vincular esquemas sencillos, conocidos, subjetivos, connotativos con esquemas complejos, nuevos, objetivos, denotativos.

Negociar significados: reconstruir colaborativamente las representaciones individuales.

Repetición: reiteración de la misma información.

Recapitulación: enunciación de resúmenes, compendio de conceptos y procedimientos importantes.

Representación: señala “las concepciones de un sujeto presentes en el momento de la enseñanza de una idea y capaces de influir en el aprendizaje...” (Astolfi, 2001: 156 - 166).

Situación: es un contexto de referencia.

---

<sup>70</sup> Usamos indistintamente el término conocimiento o saber considerando el significado utilizado por Siquiera y Pietrocola (2005) en un trabajo sobre el concepto de transposición didáctica aplicado a la teoría cuántica en la enseñanza media. En el mismo indican que la preferencia por el uso del término saber, en vez de conocimiento, sigue la opción de Chevallard cuando aplica el concepto de trasposición didáctica al campo de la enseñanza de la matemática donde “savoir” (saber) traduciría mejor el objeto del proceso de transformación involucrado en la transposición didáctica que “conniassance” (conocimiento), el cual aparenta abarcar un entendimiento más amplio y vago.

Traspasar el control: transferir el poder y los modos de usar el conocimiento académico.

## Convenciones

Hemos tratado de realizar transcripciones textuales sin embargo cuando el registro de audio nos resultó confuso debimos incorporar algunos signos que aclaramos a continuación.

[----] significa que el texto escrito entre corchetes fue agregado por nosotros. Son palabras o frases tomadas de nuestros registros escritos e incorporadas luego a la transcripción.

(...) señala la omisión de parte del texto.

... indica pausa o suspensión del discurso.

§ indica un concepto o proposición clave.

Utilizamos los signos de puntuación habituales.

Omitimos los diálogos o términos superpuestos.

Todos los desarrollos matemáticos que figuran en las transcripciones de las clases fueron revisados guiándonos con nuestros registros escritos y con el texto principal que maneja el profesor y los alumnos (Tipler, 1989).

## Análisis de dos casos

*“De alguna manera, están en Física, estoy tratando de mostrarles este mundo; de alguna forma trato de acercarlos, aproximarlos, darles elementos para trabajar.”*

Profesor Hardoy

Presentamos en esta sección un análisis descriptivo de las clases de cuántica desarrolladas por los profesores Casas y Hardoy y de las entrevistas posclase desde la perspectiva de la intervención didáctica. Primero hacemos una descripción general, luego analizamos las clases y las entrevistas de dos muestras (la muestra I corresponde al profesor Casas, y la muestra II al profesor Hardoy)

según los indicadores definidos previamente para poder apreciar ambas instancias desde nuestro marco referencial.

### **Ingresando a las clases del profesor Casas**

El profesor Casas desarrolló sus clases en el aula “Prof. J. P. Batana”. El aula es un espacio relativamente amplio con ventanales que dan a un patio con una gran fuente en el centro. Hay cuatro mesas con seis sillas alrededor de cada una, una de las mesas es usada por el profesor a modo de escritorio. Hay un pizarrón. Las clases del profesor Casas<sup>71</sup> se desarrollan los días lunes por la mañana, de 7:30 a 10:25h. El Profesor inicia puntualmente la clase a las 7:30 h. y mientras van entrando los alumnos al aula inicia una revisión de lo visto la clase anterior mediante una exposición continuada. Esto sucede los primeros diez o quince minutos e incluye la revisión de los conceptos principales tratados en la clase previa que escribe en el pizarrón en modo simbólico (MS) mientras los va leyendo simultánea y oralmente. Estos momentos que denominamos de “reiteración conceptual” en general no incluyen otros modos de presentación del contenido. Si en cambio en la introducción y desarrollo de un tema nuevo, Casas incluye esquemas y gráficos (MG) en el pizarrón, relatos y comentarios en modo extendido y conceptual (MC) que intercala con diversidad de recursos como láminas, libros de divulgación y fotocopias o dispositivos experimentales. En las clases observadas todos los temas fueron expuestos por el profesor.

### **Dos días en las clases del Profesor Casas**

Presentamos una breve descripción de los días de clases donde Casas ha desarrollado los temas más comprendidos dado que, como fue mencionado, en un día de clases se despliegan varios temas.

17-10-05. CEF2. La primera hora de clases se inicia a las 7:30 con la presencia de pocos alumnos. Se escucha mucho ruido que proviene de los pasillos, nos comentan que la semana

---

<sup>71</sup> Los apellidos de los profesores y ayudantes fueron cambiados para preservar su identidad.

anterior no hubo clases y los alumnos parecen aún de vacaciones. Casas comienza con una “reiteración conceptual” orientada a repasar las ecuaciones de Wien, Rayleigh - Jeans y Planck desarrolladas en la clase previa sobre radiación del cuerpo negro. Casas resalta la “novedad del modelo de Planck” donde la emisión aparece cuantizada. En la segunda hora, a las 8: 20, ya ingresaron los 15 alumnos y Casas comienza a desarrollar el tema Efecto Fotoeléctrico y finaliza en la tercera hora de clases. Al iniciar la cuarta hora, luego del recreo, hay 11 alumnos. Casas presenta el experimento de Millikan sobre el EF y luego el efecto Compton pertenecientes al tópico mecanismos de interacción entre la radiación y la materia. El profesor reitera la conveniencia de hacer lecturas complementarias sugiriendo “Física Atómica general” de Blackgood y “Los sueños de Einstein” de Alan Lightman.

7-11-05. CAB4. El Profesor inicia puntualmente la clase a las 7:30 h. Hay 7 estudiantes. Enuncia los contenidos que trabajarán durante las cuatro horas y que pondrá “ausente” a los alumnos que no asistan a las clases. A las 7: 40 h. entra un preceptor y toma lista para verificar la asistencia. El profesor inicia la clase con una “reiteración conceptual” de aspectos experimentales sobre Rayos X tratados en la clase previa. Durante el repaso prevalece el MS y se apoya en un bosquejo del espectro de rayos x del molibdeno utilizado la clase previa. Los nuevos temas que incorpora son la regla de Duane-Hunt, la difracción de los Rayos X y la ley de Bragg. Finalmente propone la observación de un dispositivo de producción de rayos X y la realización de un ejercicio numérico referido al cálculo de la energía de un fotón de rayos X. Son 12 alumnos y están atentos. En la segunda hora Casas reparte fotocopias<sup>72</sup> mientras los alumnos terminan e interpretan el ejercicio propuesto en la clase 1. Casas enumera los modos de interacción entre radiación y materia desplegados (efecto fotoeléctrico: el fotón se absorbe y sale un electrón), el efecto Compton (donde aparecen dos cosas: un electrón dispersado y un fotón secundario) y la generación de rayos  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ . Habla de los descubrimientos del neutrón y del positrón realizados en 1932, de la transformación de fotones de muy alta energía (superiores a 1022 keV) y de la aniquilación del positrón y del electrón. Casi al finalizar la segunda hora de clase, Casas presenta el tópico

---

<sup>72</sup> Se trata un artículo sobre el descubrimiento de los rayos X denominado *La disolución de la opacidad*, de Alfredo Buzzi (Facultad de Medicina, UBA) y del Capítulo 11: *La naturaleza atómica de la materia*, del texto Física Conceptual de P. Hewitt (2005).

“Modelos atómicos” mediante una introducción histórica que focaliza en los modelos atómicos de Thompson y de Rutherford. Durante la tercera y cuarta hora de clase Casas desarrolla el tema “Átomo de Bohr” (AB) y comenta su intención de mostrar la relación de este modelo con la Cuántica.

### Microanálisis de la muestra I

A continuación presentamos el Cuadro n° 11 donde listamos todos los indicadores ya definidos previamente y la ubicación de ejemplos tomados de las clases de Casas sobre EF, AB y de todas las entrevistas posclases.

**Cuadro n° 11. Caso Casas. Indicadores y ubicación de ejemplos**

	INDICADOR	Ubicación de ejemplos <sup>73</sup>				
		CEF2 <sup>74</sup>	ECEF2	CAB4	ECAB4	Otros <sup>75</sup>
A11	Elementos ontológicos	6. a 9.,		1.		
A12	Elementos epistemológicos	9. a 15., 99.,	<b>26.</b>	146.a 155.,		
A13	Elementos axiológicos			54.a 57.,		
A21	Trabajo práctico de laboratorio		1.a 8.,	28., 44., 220.,	50.a 62.,	p. 217, p.225, p. 232,
A22	Otros referentes experimentales y técnicos	2. a 3., 32.a 34., 100. a 102.,				p.183, 184
B11	Lógica y macroestructura	5.,	<b>14. a 24.,</b>	14.a 18., <b>23.,</b> <b>103.a 123.,</b>	27.a 31.,	p.224

<sup>73</sup> En la interpretación general incorporamos algunos ejemplos tomados de entrevistas que no pertenecen a la muestra pero que inciden en el análisis de la comprensión de la cuántica en el CNBA.

<sup>74</sup> CEF2: Significa secuencia Casas, efecto fotoeléctrico, clase 2. Está ubicada entre pág. 39 a 51 del ANEXO. Para facilitar el análisis de los episodios armamos archivos separados de las clases y entrevistas de la muestra y numeramos las intervenciones de corrido. En la Tabla, los ejemplos figuran con el/los número/s de la intervención/es seguido de punto y separados por comas. ECEF2: significa entrevista Casas post clase efecto fotoeléctrico 2 (199 a 201, ANEXO); CAB4 (85-99); ECAB4 (203-206).

<sup>75</sup> En la última columna figuran cuestiones relacionadas con la intervención didáctica de Casas que fueron extraídas de otras entrevistas no pertenecientes a la muestra. Se ubican según páginas del ANEXO.

B12	Organización del contenido	3.a 5., 15.a16., <b>20.a22.,</b> <b>52.a53.,</b>		5.a 12., 20.a 22.,		p. 184
B13	Relaciones	54.a 76., 98., <b>107.a 111.</b>		62.a 75., <b>213.a 220.</b>		p.224
B21	Propósitos	1., 23.a 26., 36.a 47., <b>104.,</b>		<b>185.a 199.,</b>		p.222
B22	Actividades	<b>49.,</b>		<b>23.a 46.,</b> <b>124.a144.,</b> 169.a 178.,		p.186, 222
B23	Recursos			<b>189</b>		
B24	Evaluación	91.,		76.a 86.,	8.a 11.,	p.221
B25	Métodos	26. a 31.,		47.a 61., <b>87.a 103.,</b> 179.a 184	3.a 8.,	
B31	Más allá de las fórmulas			156.a 166.,		
B32	Obstáculos conceptuales			<b>208.a 211.,</b>	43.a 47.,	
C11	Preguntas aproximativas	58., 60.,		3., 26., 32.,		
C12	Preguntas familiarizadoras	49.,		28., 44. a 49.,		
C13	Preguntas diversificadoras	71.,		156., 158.,		
C14	Preguntas aclaratorias	102.,		126., 128.,		
C21	Lenguaje ficcional	<b>17.,</b>		<b>134.a 143.,</b>		
C22	Proceso cognitivo propio	<b>89.,</b>		<b>18.a 20.,</b>	64.,	p.223
C23	Múltiples lenguajes	18., 92.a 97.,		201.a 207.,		
C24	Clima <sup>76</sup>	77.a 88.,	9. a 12.,	167.a 168., 183.,		p.182, 184, 185,

<sup>76</sup> Clima: los ejemplos se refieren al clima de trabajo en la clase y en el departamento de Física.

C31	Preguntas	19., 48., 77.,		3., 145.,		
C32	Cognición			188., 195.,		
C33	Resistencia					

### Transcripción de ejemplos

A continuación presentamos la transcripción de algunos ejemplos extraídos de los registros de clases y entrevistas posclase correspondientes al profesor Casas que configuran la muestra intencional I. Los ejemplos son representativos del análisis microetnográfico que realizamos y su selección tiene la intención de centrar la atención del lector en aquellos aspectos de la intervención didáctica que se orientan particularmente a desarrollar la comprensión de los estudiantes. Analizamos la aparición de cada indicador en la clase.

### FASE A1. TEÓRICO- FILOSÓFICA

#### A11 Elementos ontológicos:

*PROFESOR: Acá hay **radiación**. Vamos a considerar la **radiación monocromática**; o sea, de una **frecuencia**, o bien de una **longitud de onda**. Vamos a considerar la variación de **intensidad variable**. Por ejemplo, nosotros tenemos aquí en el Colegio una **lamparita de filamento** bastante potente y tenemos **filtros**, filtros que a la salida dejan pasar sólo una pequeña banda de **longitudes de onda**, casi monocromática...*

#### GRAFICO 5

*PROFESOR: Le pongo acá un filtro y, a su vez, la lámpara tiene una **perillita**. Entonces, con la perillita, yo le doy más o menos **tensión** a la lámpara, y lo que logro con eso es cambiar la intensidad de la luz o de la radiación [...]. O sea que yo, con el filtro, selecciono **frecuencias**; con la perillita, hago que la lámpara brille más o menos, con lo cual lo que se [...] es la intensidad de la radiación. Pongo muy tenue la luz, hay poca intensidad lumínica; más fuerte es la luz, hay mayor intensidad lumínica. Ahora, de acá, de la lámpara, sale luz blanca; si le pongo un filtro verde, o le pongo un filtro amarillo, o le pongo un filtro rojo, ¿qué estoy haciendo? Estoy seleccionando una longitud de onda vía externa. Otra variable en juego: corro este **cursor** para acá, o corro este cursor para acá, ¿qué estoy modificando? Corro este cursor para acá, o para acá, o le cambio el orden, y estoy modificando la...*

*ALUMNO: (...)*

*PROFESOR: ...entre los dos **electrodos**. El tema es que la **ampolla** está prácticamente evacuada. Rescato de ese material fotosensible; pongo acá un **amperímetro**, el amperímetro tiene que [...] muy poca **corriente**: (...) diez a la menos nueve, o diez a la menos ocho. Pongo acá un **voltímetro**, donde el voltímetro mide la **diferencia de potencial** entre el **cátodo** y el **ánodo**. Con el amperímetro mido la **corriente fotoeléctrica**... (CEF2)*



La secuencia señala una descripción con presencia de términos teóricos (radiación, frecuencia, corriente fotoeléctrica, etc.) y de términos empíricos (amperímetro, cursor, etc.). En las clases de Casas los términos empíricos o teóricos son presentados en relación con situaciones o dispositivos conocidos por los estudiantes y si esto no sucede así los estudiantes solicitan aclaraciones como muestra el ejemplo siguiente:

1. ALUMNO1: *Yo tengo una duda (...). Cuando estábamos discutiendo y tratando de saber qué transporta, se complica mucho entender esto, más lo de **ampollas evacuadas**.*
2. PROFESOR: *Bien, está bien.*
3. ALUMNO1: *O sea, entiendo perfectamente (...), la diferencia (...); **no sé lo que es una ampolla**. Pero es irrelevante.*
4. PROFESOR: *¿Una ampolla? Es como una cápsula de vidrio.*
5. ALUMNO2: *Como una bombita.*
6. PROFESOR: *Ahí está. Como una lamparita; “evacuada” es comprensible....(CEF2)*

### A12 Elementos epistemológicos:

*PROFESOR: Yo busco (también en cuarto y en quinto) que sea sí, es decir, que el modelo –siempre les insisto– es describa, explique, [interprete lo que está allí]. De todos modos, me parece que **es importante experimentar y después buscar los modelos** que anden bien con eso, con más o con menos asidero. O sea, como que las leyes estén subordinadas a lo que [esté enseñando en ese momento]. ECEF2*

Casas se preocupa por diseñar y desarrollar clases coherentes con la metodología científica de producción del conocimiento físico y reiterar en distintas oportunidades el esquema “describa, explique e interprete” que se ejemplifica en la cita.

### A13 Elementos axiológicos:

*PROFESOR: Momento de inercia por omega. Le saco este cuadrado y le pongo acá otro R, y ¿qué tenemos ahora ahí? Omega-R es... ¿Quién es omega-R?*

*ALUMNO: Velocidad.*

*PROFESOR: Velocidad. Omega por radio es velocidad. ¿No se acuerdan? El otro día en quinto tenía una pila de gente durmiendo; yo quería presentarles los circuitos de corriente... **lo único que querían era dormir**.*

*ALUMNO: (...) fiestas de 5°*

*PROFESOR: Después, **no chillen**. Háganlas los viernes.*

*ALUMNO: (...) salen el doble! CAB4*

En el contexto de una deducción, Casas se enoja y reclama mayor participación y compromiso de parte de los estudiantes para poder ayudarlos a establecer conexiones entre conocimientos académicos nuevos y previos (intención de aproximar).

## FASE TÉCNICO-METODOLÓGICA

### A21 Trabajo práctico de laboratorio:

*PROFESOR: En un sólido, el momento cinético de un cuerpo rígido,... El momento cinético, ¿cómo era? Recuerden el chico con los brazos abiertos en el (...) giratorio (...), ¿qué le pasaba? CAB4*

*PROFESOR: En realidad, siempre de este tema tengo una presentación. Quizás es más fácil pararse en el pizarrón que armar [el experimento]. No lo digo por este Colegio, porque acá tenemos todo. Pero, honestamente, vine la semana pasada (no recuerdo si el miércoles) con la idea de prepararla [por Internet]. No termina de salir bien. Estuvimos hasta las siete de la tarde trabajando y no quedaba claro, y ya después dijimos "bueno...". Lo que tengo está con las placas de Word llevado a Power-Point; o sea, está escrito en Word y está copiado en...*

*PREGUNTA: .....*

*PROFESOR: No, no. Lo tengo armado en Word.*

*PREGUNTA: Ah, entendí que ibas a hacer un experimento y que estuviste trabajando con el experimento.*

*PROFESOR: Yo estuve en el Colegio el miércoles. Empezamos con el equipo de fotoeléctrico, vino el señor que arregló el amplificador a explicarnos cómo conectarlo, cómo funciona, etc. Y estuvimos insistiendo hasta las siete de la tarde, poniendo el filtro acá, lo saco de allá, qué ocurre acercando la lámpara. Y después vino el fin de semana y la clase el lunes a primera hora... No tuve tiempo.*

*PREGUNTA: ¿Vos pensás que hubiese sido mejor el otro camino, el experimental?*

*PROFESOR: El experimental, sí, porque esa curva, quizás no voy a buscar [una justificación netamente empírica], pero la curva de corriente de montaje se repite (...); si cortás un poquito el potencial del corte y la intensidad de la luz, (...). ECEF2*

Estos ejemplos muestran dos situaciones donde los TPL presentan funciones diferentes: el primero busca que los estudiantes recuerden el concepto de momento angular de la mecánica del cuerpo rígido a partir de un TPL de 4° año que lo ilustra y como paso previo para aplicarlo al momento cinético del electrón. El segundo, a través del comentario desarrollado en la entrevista se refiere al compromiso de Casas por preparar múltiples recursos que den soporte a su esquema didáctico de describir, explicar e interpretar y, además, a tratar de utilizar el TPL para ejemplificar y ampliar situaciones. (Intención de familiarizar).

### A22 Otros referentes experimentales y técnicos:

*PROFESOR: ...Volviendo al gráfico. ¿Cómo termina la cosa? Un modo de obtener el trabajo de extracción propio de cada (...); o sea, si yo hiciera el experimento fotoeléctrico con distintas células, con distintos materiales fotosensibles, la ordenada al origen cambia (...). Pero, ¿qué ocurre con la pendiente? La pendiente del gráfico es esta:  $h$  sobre  $e$ . Entonces, supuestamente, si yo hiciera el experimento fotoeléctrico con distintas células fotoeléctricas, con distintos materiales, la pendiente debería ser así, idéntica (...). Insisto: **no es una comprobación de la teoría**, pero es de un nivel de confianza (...) del modelo de Einstein. CEF2*

El ejemplo refiere a un esquema cartesiano que resultó del trabajo experimental diseñado por Millikan con el objetivo de mostrar que la explicación del efecto fotoeléctrico dada por Einstein no era correcta. Dicho gráfico, que representa el potencial de corte para distintas frecuencias de la radiación incidente en distintas fotocélulas, es usado como un soporte visual que vincula datos empíricos y la explicación conceptual del EF. (Uso del MC, MS, MG con EC y EM).

## FASE B1 TRATAMIENTO DEL CONTENIDO

### B11 Lógica y macroestructura:

1. PROFESOR: Entregarle 13,6 (para que pase de menos 13,6 a cero). Bien. **¿Qué queremos hacer con esto? Queremos trabajar con esta ecuación.** De esta ecuación, por ejemplo, **queremos despejar  $v$ .** Nos queda  $v$  en términos de  $r$ . Y ponerla acá. Entonces, si tengo  $v$  en términos de  $r$ ... De acá se despeja  $r$ . Y, después de obtener  $r$ , supongamos, volver a esta y obtener  $v$ , e ir allá y obtener  $e$ . **Entonces, la cuestión es ver cómo la idea de la cuantización del momento cinético arrastra a la cuantización de  $r$ , a la cuantización de la velocidad y a la cuantización de la energía.** Lo hacemos rápido. Les ponemos “1”, “2” y “3”. De la primera, dijimos que despejamos  $v$ . **Por favor, concéntrense**, así no cometemos errores y vamos siguiendo el desarrollo. Despejamos  $v$ ...

2. ALUMNO:  $n h$ ...

$$3. L = \frac{nh}{2\pi} = mrv$$

$$4. v = \frac{nh}{2\pi r m}$$

5. PROFESOR:  $n h$  sobre (...),  $r$  (...). Esto lo llevamos a 2, ¿cómo nos queda?

$$6. \frac{kZe^2}{r} = \frac{mn^2h^2}{4\pi^2 r^2 m^2}$$

7. PROFESOR:...  $kZe^2$  cuadrado sobre  $r$ ,  $m$ , todo esto al cuadrado; ponemos:  $m$  cuadrado,  $h$  cuadrado,  $4e$  cuadrado,  $r$  cuadrado,  $m$  cuadrado. Reducimos un  $m$ ; reducimos un  $r$ . Despejamos  $r$ . ¿Está bien?

$$8. r = \frac{n^2 h^2}{Z 4\pi^2 k e^2 m}$$

9. ALUMNO: (varios a coro...).

10. PROFESOR:  $n$  cuadrado lo dejo acá. ¿Dónde va ir el  $Z$ ?

11. ALUMNO: Abajo.

12. PROFESOR: Entonces, el  $Z$  lo pongo aparte.  $h$  cuadrado,  $4e$  cuadrado..., por  $m$ . ¿Está bien? ¿Falta algo? **Analicémoslo dimensionalmente.**

13. ALUMNOS: (... varios siguen los cálculos).

14. PROFESOR: (...). Sí, pero lo dejamos como está, porque de  $k$  sabemos el valor y vamos bien. **Dimensionalmente**,  $h$  joule segundo (como está al cuadrado, joule-cuadrado, segundo-cuadrado).

$n$  es un número,  $Z$  es un número, este es un número.  $k$ . ¿Recuerdan  $k$ ? Newton metro cuadrado coulomb cuadrado.  $e$  cuadrado, coulomb cuadrado, masa kilogramo. Reducimos coulomb cuadrado.

$$15. \quad [r] = \frac{J^2 s^2}{\frac{N^2 m^2}{C^2} kg} = \frac{J}{N} = m$$

16. ALUMNO: (...).

17. PROFESOR: ¿Qué más? Newton metro es joule; o sea que newton y el cuadrado se van con este. Este segundo cuadrado lo mandamos abajo. Kilogramo, metro sobre segundo al cuadrado; newton. ¿Joule sobre newton? ¿Qué da?

18. ALUMNOS: (... varios juntos) ...está bien, el radio es en metros.

19. PROFESOR: Metro. Ah, está bien, el radio tiene que dar en metros. Es un radio, **o sea que dimensionalmente** (...).

$$20. \quad r_0 = \frac{h^2}{Z 4\pi^2 k e^2 m}$$

$$21. \quad r = r_0 n^2 \text{ (CAB4)}$$

Casas jerarquiza qué variables se deben trabajar ( $v$  en función de  $r$ ), con qué actitud trabajar (concentrarse), pone en práctica un esquema conocido por los estudiantes que es el análisis dimensional o análisis de unidades (intención de familiarizar) y plantea una macroestructura de causación (“arrastra” de la idea más importante). Así la cuantización del momento cinético “arrastra” a la cuantización del radio, de la velocidad y de la energía. La macroestructura discursiva sería si cuantizamos el  $L$  entonces cuantizamos  $r$ ...

*PROFESOR: Tal vez hubiese ido un poquito más rápido. No sé. Como está el tema, ellos después lo vuelven a ver. Yo preferiría que se lleven del Colegio, supongamos, la catástrofe del ultravioleta, o por ejemplo insistiría en  $hf$ , con las cosas más básicas. Es una opinión personal. Si ellos tienen muy fuerte lo básico, me parece que es más productivo a que se sepa todo el desarrollo [que viene del Compton]. En la clase intento insistir en eso. Por ejemplo, les traigo (...) sobre  $S$ , o cosas que quizás no tienen mucho que ver pero creo que si lo llevan del Colegio se les allana el terreno.*

*PREGUNTA: Veamos si te entendí bien. La vez pasada te hacía la misma pregunta: si recibieses de parte de los alumnos una máxima comprensión, ¿qué harías? En ese momento, vos me dijiste: “yo les daría más desarrollo matemático”. Ahora, ¿me estás diciendo otra cosa? Es decir, ¿más trabajo conceptual con experimentos [que marcaron la ruptura]? En clases como hoy, si ellos tuviesen un gran nivel de comprensión, ¿insistirías más en lo conceptual y no insistirías tanto en la matemática, como la vez pasada?*

*PROFESOR: No, no sé. Si supieran todos no tendríamos que ir a las cuentas.*

*PREGUNTA: Es una suposición.*

*PROFESOR: Claro. Pero lo que yo intento, en última instancia, lo hago pensando que quizás hacen interpretaciones que no son justas, porque quizás algo de lo básico no está del todo firme. Ahora bien, si se allanara eso, dentro de los límites (los profesores saben un poquito de cada cosa), dentro de mis límites, me metería un poco con [los desarrollos y esas cosas]. En la opción, es decir, asumiendo que no todos tienen ese igual grado de estudio y de comprensión (yo tengo algunos que han estado sobre rieles; pero otros no lo están), en tal caso, prefiero que se lleven bien lo básico, aunque quizás sea un poco reiterativo. Ahora bien, si tuviera a todos más o menos a la par... Claro, está esa cosa de [vencer las paredes]. [A eso apunta la clase]. Muchas veces pienso eso de nivelar para abajo..... ECEF2*

En la entrevista Casas muestra cierta ambigüedad entre desplegar una lógica pedagógica, que

considera basada en la presentación de fenómenos y de conceptos centrales, y una lógica más “universitaria” basada en la argumentación matemática. Inclusive al no poder resolver esta tensión -habitual en los profesores de nivel medio- se siente molesto como se infiere de otros episodios.

### **B12 Organización del contenido:**

*PROFESOR: Yo insistiría que la concepción clásica, que es pensar la radiación como una onda electromagnética, no explica la fotoemisión, no cierra el concepto de acumulación. No la explica por distintos aspectos. Por ejemplo, uno de los aspectos principales es el de la radiación; si uno pensara que la radiación viaja como un frente esférico, y que incide en la materia, (...). La otra forma de explicarlo modifica también la forma de propagación; ya no es un frente de onda el que viaja, sino que son fotones (...), cosa de la cual no habló Planck. Y, además, modifica la interacción: la interacción es uno a uno, fotón a electrón. Cada fotoncito interactúa con cada electroncito. Esto es una cosa que es muy particular y curiosa. Este estado de cosas es de 1905. Einstein explica el efecto fotoeléctrico con una relación que, traducida a los libros de difusión actuales, queda de este modo. Fíjense qué idea tan simple. La energía del fotón se emplea en dos cosas: se emplea en extracción del electrón, por un lado. Cuesta arrancar el electrón del material. Ustedes piensen que el electrón está ligado al átomo y que, de algún modo, (...). Y ahí aparece el umbral; es decir, si esta energía que da el fotón es más que la que necesito para arrancarlo, ¿qué ocurre con el resto de energía? Pensemos que en este mecanismo de interacción, el fotón desaparece como tal. Entonces, de toda la energía que trae el fotón, una parte la uso para extraer el electrón del átomo, ¿y la otra parte? en energía cinética (...); o sea, el fotón desaparece como tal. Una parte de esta energía la uso para arrancar el electrón, otra parte la uso como energía cinética del fotoelectrón. Entonces, con la idea de que la energía del fotón sigue la misma ley de la emisión en Planck, la energía del fotón tenemos:*

$$E_{\text{fotón}} = h f$$

Este ejemplo muestra una explicación conceptual de la fotoemisión donde se introduce la idea de cuantización. Casas despliega aquí distintos procesos: apela a los conocimientos previos por comparación de dos esquemas conocidos sobre la propagación y la interacción de la radiación con la materia (**intenta familiarizar**); diferencia formas de propagación (por acumulación de la energía transportada por una onda electromagnética clásica o por choque entre partículas, fotón con electrón, donde la energía está cuantificada según la ecuación de Planck); contextúa la situación cronológicamente (**intenta diversificar**) y trata de **brindar apoyo emocional** durante la presentación de la nueva idea referida al modo de empleo de la energía del fotón incidente al decir “Fíjense qué idea tan simple”.

### **B13 Relaciones:**

*PROFESOR: Ah, correcto. Está bien. Permítanme que les cuente un poquito de historia. Ustedes, en el TP, midieron las longitudes de onda en el espectro del átomo de hidrógeno. Históricamente, antes de 1900... Y es muy*

*interesante, porque este descubrimiento era de un señor, Balmer, que era un maestro de escuela. Él concibe los valores de las longitudes de onda en el espectro del hidrógeno e intentó buscar una ley que los relacionara; donde el aspecto de la ley es un aspecto semejante a este que tenemos acá. Lo que quería destacar es que hay muchas transiciones posibles; pero si  $n_f$  es 2, y esto les queda como tarea; cuando  $n_f$  es 2, el electrón que cae, ¿de qué orbitas a qué orbitas cae? De la 3 a la 2, o de la 4 a la 2, etc. Para que emita debe ser  $n_f < n_i$ . De una órbita más excitada a otra menos excitada... (CAB4)*

El ejemplo muestra relaciones de semejanza entre una secuencia didáctica vivida por los estudiantes (**R1**) y una secuencia central en la historia de la cuántica (**R2**). El comentario de Casas, realizado al finalizar la exposición del modelo de Bohr, intenta que los estudiantes perciban un esquema conocido en la construcción de la física y en las clases (**familiarizar**) consistente en: describa (la existencia de líneas espectrales), explique (mediante el cálculo de longitudes de onda por la ley de Balmer) e interprete (aplique el modelo de Bohr).

## **FASE B2 PRÁCTICAS COGNITIVAS**

### **B21 Propósitos:**

*PROFESOR: Intentamos mostrar que esta es la idea, en el sentido de que yo podría pensar en explicarlo de dos modos: el foco emite ondas, un frente de ondas esférico, dicho frente de ondas incide en la materia, y eso al transmitir energía a la materia, la cambia... Por contraposición, la idea de Einstein es interacción uno a uno: un fotón a un electrón. CEF2*

Al finalizar la clase el profesor refuerza su **intención de jerarquizar la idea principal** y de explicar **enfatizando diferencias** entre la perspectiva clásica y la cuántica explicitando una **macroestructura de comparación**.

### **B22 Actividades:**

*PROFESOR: ¿Terminamos con Bohr? Concéntrense. Lo terminamos rápido. Entonces, ya tenemos la cuantización del radio, tenemos la dimensión del radio atómico; y ahora yo quería, volviendo acá, poner esto acá y poner esto acá. En realidad, esto no me importa tanto; pero sí me importa más la de velocidad (...).*

$$v = \frac{nh}{2\pi r m}$$

*Entonces, encontramos que la energía es  $kZ$  e cuadrado, sobre 2 por  $r$ ; o sea, 2 por (y vamos a escribir todo este paquete primero)  $m$  cuadrado  $h$  cuadrado, y pasan arriba:  $Z$ , 4  $\pi$  cuadrado,  $k$ , e cuadrado,  $m$ . Compactamos, despejando el  $Z$  cuadrado y el  $m$  cuadrado acá. Entonces, el resto es... ¿Qué tendríamos?*

$$E = -\frac{Z^2 k^2 4\pi e^4 m}{n^2 2h^2}$$

ALUMNO: [(...) cuadrado].

PROFESOR: Sí.

ALUMNO: e cuarta.

PROFESOR: e cuarta, m por (...) Pi cuadrado. ¿Está bien? Y abajo tenemos 2 h cuadrado. Y me olvidé el “menos” adelante. Yo, a propósito, dejé con el “Z”, para después controlar las fallas en el modelo de Bohr. O sea, acá estamos suponiendo un núcleo que tiene más de un protón, y en las órbitas consideramos que es un átomo que tiene sólo un electrón; es decir, un núcleo concentra protones y el electrón en la órbita. **Vamos a hacer esta cuenta. Hacemos lo mismo que hicimos antes... análisis dimensional** ¿Cuál es la unidad?

$$[E] = \frac{\frac{N^2 m^4}{C^4} C^4 kg}{J^2 s^2} = J$$

Carga; newton, metro cuadrado, coulomb cuadrado. Como está al cuadrado, newton cuadrado, metro cuarta, coulomb cuarta. e, coulomb cuarta, kilogramo; h es joule-segundo; joule cuadrado, segundo cuadrado. Entonces, el coulomb cuarta se va. Queda newton-metro-joule; o sea que newton cuadrado y metro cuadrado se van. Tacho acá, y me queda metro cuadrado. Y tenemos: kilogramos metro cuadrado sobre segundo-[cuadrado] joule. O sea que, dimensionalmente, esto es joule. Vamos a calcular el valor de esto, a lo cual le vamos a poner E sub-cero. Tenemos: E sub-cero, menos Z cuadrado sobre [E] cuadrado... CAB4

Sugerir el cálculo dimensional en el marco de un desarrollo en MS significa proponer un procedimiento o esquema conocido por los estudiantes que favorece las conexiones entre el conocimiento nuevo con variables y unidades conocidas (**aproximar y familiarizar**). Es una actividad orientada “hacia atrás” como define Hernández Hernández (1997) y no para aplicar el conocimiento nuevo en otros casos.

### **B23 Recursos:**

ALUMNO: 6,62 ¿no es 1,6 a la cuarta?.

PROFESOR: Ah, sí, sí.  $6,624 \times 10^{-34}$  y el h está a la 2. Vimos que todo esto nos daba en joule. Hagamos rapidito la cuenta. (Mientras los alumnos hacen los cálculos el profesor comenta). **Dos libros para las vacaciones**. Uno se llama *Día uno*, y no recuerdo el autor. Yo no tengo el libro, pero tengo fotocopias; si quieren, lo pueden fotocopiar. **Es estremecedor y sumamente detallado** sobre el proyecto de Los Álamos, el proyecto por el cual Estados Unidos (...). Y el otro que es muy lindo y muy agradable para leer es el de Mariscotti, que se llama *El secreto atómico de Huemul*, del cual se ha hecho una reimpresión. Lo consiguen en cualquier librería, sale veinte pesos y vale la pena. Tienen un buen libro para las vacaciones. **Es de historia argentina, lo que yo les hablaba de Richter**.

ALUMNO1: 4,32 por 10 a la menos 18.

$$E_0 = 4,32 \times 10^{-18} J \quad (CAB4)$$

Este ejemplo señala la importancia que Casas otorga a las lecturas complementarias y al cálculo numérico. Utilizando la imagen comparativa entre “figura y fondo” consideramos que Casas propone **otras lecturas** como “figura” o aspecto principal con la intención de estimular nuevas relaciones y ampliar contextos (**diversificar por R2**) y el cálculo numérico como “fondo” o aspecto secundario.

### **B24 Evaluación:**

*PROFESOR: ... No sé, era como si les dijese “preparen...”, por ejemplo esto que yo quiero hacer el 28; era como que se los sugería y, si **era en cambio de una evaluación**, lo tomaban más que encantados, porque veían el diez al alcance de la mano y sin posibles complicaciones. **Pero a estos chicos les digo eso y me dicen:** “bueno, no para este lunes, no para el otro...”. Tienen muchas vueltas. Tienen muchas vueltas. **Tal vez me hubiera gustado eso:** hacer algunos problemas en el aula y, **después, encargarles lo del 28, pero encargárselos antes;** de modo que, para hoy, sin haberles explicado el modelo de Bohr, supongamos, me hubiera gustado... Pero no lo podían hacer, porque no se daba la circunstancia. **El lunes pasado también tuve poca gente en el aula.** Ahora, con esta **intimidación**, yo supongo, o espero, que para las dos últimas clases voy a tener más presentes. Vamos a ver el lunes que viene.*

*PREGUNTA: O sea, vas a hacer correr rigurosamente la falta.*

*PROFESOR: No sé. Lo que pasa es que **no puedo evaluar a todos igual.** Una chica no viene porque está con el tema de las Olimpiadas; es esa chica Adriana que está en Química. Pero tengo otro que no viene los lunes porque queda todo averiado porque juega rugby el domingo. Entonces, me parece que es distinto. Otros faltan porque se ponen a estudiar para Matemática, o tienen que recuperar Química. Entonces, **es complicado.** Pero yo creo que con ese mensaje tal vez... Vamos a ver el lunes que viene. Confío en que va a haber más gente. A propósito les hice un poco de teatro diciéndole al preceptor... **EAB4***

Casas comenta que prefiere evaluar mediante la resolución de algunos problemas en el aula y mediante la presentación de otros en forma grupal pero que en este curso no logra hacerlo pues tiene dificultades para solicitar las actividades con suficiente tiempo. Esta cuestión le molesta y atribuye las dificultades de regulación del tiempo a las inasistencias de los alumnos (¿limitaciones para autoevaluar otros **aspectos latentes y vinculados con las clases?**).

### **B25 Métodos:**<sup>77</sup>

*PROFESOR: Para una fotocélula determinada yo podría hacer incidir la radiación con frecuencia superior a (...), y después cambiar de posición, o sea aumentarle el (...). Entonces yo podría representar la corriente... **Cuidado, esto es***

<sup>77</sup> Hernández Hernández (1997: 303) caracteriza los métodos constructivistas habitualmente desplegados por los profesores en un continuo que va entre aquellos centrados en el objeto (logocéntricos) y en el sujeto (psicocéntricos). Definimos los dos más utilizados por los profesores que analizamos. **Expositivo-suscitador:** predomina la lección magistral que conecta con los conocimientos y experiencias del auditorio y el alumno participa internamente. Es útil para no expertos de cursos superiores suficientemente motivados. **Interactivo-productivo:** Enseñanza tipo vygotskyana, con interacción profesor – alumnos intensa. El profesor informa, estimula, canaliza, sintetiza. El alumno: busca, explora, pregunta, expone.



*intensidad lumínica*, y tiene que ver con la lamparita; y esto es *intensidad de corriente*. Esta es la intensidad de corriente  $i$  y esta es la  $V_{12}$ , que es la diferencia de potencial entre ánodo y cátodo. Cuando no hay tensión (o sea: apago el..., o bien junto estos dos terminales en un mismo punto), **la idea es que cuando la frecuencia es superior al umbral, aún sin tensión, hay corriente**. ¿Cuál es la idea? La radiación incide en el material. Arranca electrones. ¿Qué hacen algunos de esos electrones? Alcanzan (...). **Lo importante es entender que un electrón, que un electrón que descarga energía y entra para allá implica una  $i$  en el sentido contrario. Recuerden que la  $i$  se concibe como si fuera el movimiento de carga positiva; es decir, la  $i$  se piensa como si los transportadores de carga móviles fueran polos positivos.**

#### GRAFICO 9

**PROFESOR:** Ahora, yo empiezo a aumentar los valores de tensión de modo que el ánodo sea positivo respecto del cátodo, con mayor potencial del ánodo que el cátodo, si este punto está mayor potencial que este, una carga negativa es atraída. Yo tengo una placa, un punto A, un punto B, y A es mayor (...), A es mayor que B. Tengo una carga positiva en esa región de un campo eléctrico donde A tiene más potencial que B; **¿para dónde va la carga positiva?**

**ALUMNO:** Para arriba.

**PROFESOR:** Va para arriba, muy bien. **¿Cuál es la idea? La carga positiva en un campo eléctrico se porta como se portan las masas** (...). Entonces, una masa en un campo gravitatorio, ¿para dónde se mueve, por efecto del campo? Para abajo. Si dejo una masa en un campo gravitatorio, ¿para dónde va? Por efecto del campo, va para abajo. Las cargas positivas. Yo pongo ahora una carga negativa, y **¿qué esperarías de la carga negativa?**

**ALUMNO:** Para abajo.

**PROFESOR:** Que vaya hacia abajo. Electrón, carga negativa, **¿qué espero?** Habiendo tensión, de modo que esta placa esté a más potencial, las cargas negativas se ven favorecidas a moverse hacia el punto de mayor potencial. **Les digo esto porque, de repente, imaginemos un electrón**. Un electrón podría estar parado así, de modo que si no hay tensión entre las dos placas, el electrón termina (...) contra la pared de la ampolla. Pero si hay tensión entre las placas, aún para estos electrones, ¿qué va a ocurrir? Aún para estos electrones (...). Entonces, la idea es que (...) **tensión corriente, dando tensión ahí, es una cosa aproximadamente así donde acá aparece una corriente de saturación. A la vuelta invertimos la polaridad y tratamos de interpretar la saturación y esta** (...). CEF2

El ejemplo señala un método o modo de iniciar y conducir el tratamiento del tema EF expositivo-suscitador basado en la descripción empírica del fenómeno fotoeléctrico. Durante la exposición de los conceptos principales Casas se apoya en **tres formas de representar simbólicamente el contenido** (o MG) que denominamos esquema experimental, esquema gráfico y esquema de modelo. Esto alude a la **intención de variar los soportes y el acceso** a la información cuántica. También propone conexiones con el conocimiento académico previo (**aproximar**) y busca provocar el pensamiento conjetural de los estudiantes a través de establecer analogías con el campo gravitatorio y el eléctrico aplicados al electrón. (Intención de familiarizar).

## **FASE B3 PRÁCTICAS METACOGNITIVAS**<sup>78</sup>

### **B31 Más allá de las fórmulas:**

<sup>78</sup> Martí, E. (1999: 111), en Pozo y Monereo (comp.). El aprendizaje estratégico. Madrid: Aula XXI. Santillana, diferencia las estrategias de aprendizaje y las de metacognición. En las primeras prevalecen *técnicas, habilidades o hábitos* que involucran secuencias automatizadas de acciones y en las segundas *estrategias* que requieren de acciones planificadas. Así un pensamiento o acción es metacognitivo cuando requiere que el sujeto realice una actividad intencional y controlada (prever qué y cómo) para encadenar varios procedimientos orientados a lograr un objetivo determinado.

PROFESOR: ... Un problema actual de la física moderna y de la química, es encontrar elemento con vida media corta, una reacción química (no sé, creo que al fisionar uranio aparece cesio más algo, estroncio); una reacción química que dé como resultado un elemento X, y que el elemento X tenga una vida media (...) muy corta. Entonces, se eliminan los (...) del cesio; es decir, si hay (...), que es un problema muy interesante. Se resuelve el problema de la contaminación (...) del cesio, que es radioactivo, que tiene (...) larga, y que contamina; es decir, el cesio emite. **¿Cuál es el problema de pensar que las radiaciones contaminan?** El efecto de las radiaciones sobre el organismo, **¿saben cuál es?** **¿Por qué decimos que una radiación contamina el organismo?**

ALUMNO: (...).

PROFESOR: Ahora, podría ser que el uranio no está... Cuando la radiación incide, por ejemplo, en el cuerpo humano, **¿qué efecto produce en las células del cuerpo?** (...). **¿Cuál es el efecto?** Las radiaciones electromagnéticas, alfa, beta... Alfa y beta son partículas; rayos X y rayos gamma son ondas electromagnéticas; cuando inciden en el organismo, ¿qué hacen? Las ionizan. **¿Qué pasa con las moléculas ionizadas?** Tienen más capacidad ¿de qué? De combinación, de reaccionar químicamente con otra cosa. Ahí se producen malformaciones en el organismo. **No sé si se entiende; ¿qué es lo malo de la radiación?** Justamente eso: que la radiación ioniza la materia, y una serie de cosas; y produce la capacidad de reacciones químicas, de combinaciones químicas. El otro día les contaba, por ejemplo, el tema del potasio. Si ustedes se casan con el K tiene radiaciones (...); entonces, **tienen que tomar conciencia de esto.** Y esa radiación (...). Entonces, tiene sus riesgos. Si yo pongo un contador de radiación, el contador va a estar permanentemente registrando radiaciones que la gente emite; entonces, recibe descargas. **O sea, todo está en el tema de una dosis admisible, tolerable, que es lo que es nocivo y lo que no. Hay un libro sobre las consecuencias de esto, de Hiroshima, de Nagasaki; "Día uno": entonces, había gente que se tiró al río y sobrevivió a la explosión pero al poco tiempo moría por efecto de las radiaciones. El punto es que, con la desintegración nuclear, se emiten radiaciones. Y tal cantidad o tal dosis de radiación, aunque inmediatamente después del estallido (...), al poco tiempo morían. (...).**

ALUMNO: Una persona que estaba viendo lo que pasaba, le quedó la mano pegada a la frente, se miró el hueso (...), ¿eso es por radiación o es calor?

PROFESOR: No sé, yo supongo que (...); te quemaba todo. Imagínense que, por ejemplo, hay 20 grados y, de un momento para el otro, la onda expansiva..., la temperatura del lugar sube de 20 a 5000°C.

ALUMNA: (...).

PROFESOR: Supongo que no, porque es como una órbita que se genera en el momento y avanza...

ALUMNO: (...).

PROFESOR: Creo que no tenían conciencia.

(...).

Los alumnos atienden el relato concentradamente.

PROFESOR: Creo que los estudios fueron posteriores. Por eso generalmente se dice que fue mucho más criminal la segunda bomba que tiraron, por cómo queda después en Nagasaki, porque cuando tiran la segunda ya habían visto los efectos. **Volvamos a Bohr. Es muy interesante.**

El profesor estimula a **pensar más allá de las ecuaciones** estableciendo **relaciones externas** o de tipo R2 entre el tema AB y la contaminación por radiaciones nucleares. Despliega un relato completo en **modo conceptual (MC)**, formula distintos tipos de preguntas y propone lecturas ampliatorias (**intenta diversificar**).

### **B32 Obstáculos conceptuales**

PROFESOR: Bueno, es la condición. "n" apareció cuando escribimos esto sobre Bohr:

$$L = n \frac{h}{2\pi} = mvr$$

Las clases comprensivas de cuántica en el nivel escolar medio

Libro I: La investigación

Ana Isabel Iglesias

que  $L$  era  $n h$  sobre  $2 \pi$ ,  $m v r$ . Entonces, acá se expresa la idea de que  $L$  es un múltiplo entero de  $h$  sobre  $2 \pi$ . Ahí está la idea cuántica, pero es distinto de la anterior. Antes hablábamos de cuántica en la emisión de fotones, o en la recepción de fotones. Ahora decimos: la estructura de la materia, la energía de los niveles electrónicos, también está cuantizada. Fíjense: el átomo de hidrógeno es menos 13,6, ¿o cuánto puede ser? Un cuarto (...); esto vendría a ser  $E$  cero sobre 4. ¿Cuál sería el nivel que sigue?

ALUMNO: Un noveno.

PROFESOR: Un noveno, que entraría más o menos por acá. Y otro, y otro, y otro. Vean cómo ustedes hacia arriba se empiezan a juntar más. CAB4

Casas operacionaliza un supuesto acerca de que los estudiantes pueden confundirse y no reconocer la cuantización en la estructura misma de la materia **resaltando las diferencias entre cuantizar la emisión o recepción de fotones y cuantizar la energía de la materia** o de los niveles electrónicos mediante una **macroestructura de comparación**.

## FASE C1 TIPOS DE PREGUNTAS

### C11 Preguntas aproximativas (\*):

$$E_{c \text{ máx}} = \frac{1}{2} m v_{\text{máx}}^2$$

PROFESOR: El trabajo de extracción tiene que ver con las características del material. La idea cuántica está acá. ¿Energía cinética máxima de los electrones? Un medio  $m v$  máxima al cuadrado, suponiendo que estos electrones sean arrancados con velocidades mucho menores que la velocidad de la luz, suponiendo de estos fotoelectrones que en este caso no entre la teoría de la relatividad, o sea, que podamos seguir considerando que la energía cinética es un número de (...) al cuadrado. En la próxima hora, les voy a hablar un poquito del efecto Compton, y ahí la energía del electrón la vamos a (...), porque en el Compton va a haber fotones de altísima frecuencia, o sea, de mucha, mucha energía. Esta es la expresión de Planck. **Quinto año y tercer año. Quinto año: ¿qué es la diferencia de potencial? ¿Cuál es la definición de la diferencia de potencial?**

ALUMNO: Mayor potencial (...) por mayor energía cinética.

PROFESOR: Está bien, quiero llegar a eso. **Pero ¿cuál es la diferencia de potencial, en la definición?** Energía necesaria para movernos (...) de un punto a otro, por unidad de carga. La diferencia de potencial nos dice la energía necesaria para trasladar una carga de un punto a otro por unidad de carga. A mí me gusta definirlo así:

$$V_{1-2} = \frac{W_{1 \rightarrow 2}}{q_0} \quad (\text{CEF2})$$

Las preguntas formuladas en este párrafo buscan conectar los conocimientos académicos cuánticos con los previos (**aproximar**) denotando, por parte del profesor, un detallado conocimiento del desarrollo curricular de la Física en los distintos cursos del CNBA.

### C12 Preguntas familiarizadoras:

Las clases comprensivas de cuántica en el nivel escolar medio  
 Libro I: La investigación  
 Ana Isabel Iglesias

*PROFESOR: En el práctico de (...), ustedes alejaban las tuercas, ¿y qué pasaba? ¿Qué cambiaba alejando las tuercas?*

*ALUMNO: El momento de inercia.*

*PROFESOR: El momento de inercia, porque ¿qué cambia? Cambia el radio (...)*

GRAFICO 8

*PROFESOR: Ahora bien, si yo tengo el modelo según el cual acá está el núcleo y acá está electrón, el momento de inercia para el caso del electrón es la masa del electrón ¿por quién?*

*ALUMNO: Radio al cuadrado.*

*PROFESOR: Por radio al cuadrado. Y vendría a ser que la masa del electrón por radio al cuadrado es el momento de inercia, y el vector  $L$ , ¿quién es? Momento de inercia ¿por?*

*ALUMNO: Omega.*

$$\left| \vec{L} \right|_e = m r \omega r \quad \omega r = v$$

*PROFESOR: Momento de inercia por omega. Le saco este cuadrado y le pongo acá otro R, y ¿qué tenemos ahora ahí?*

*Omega-R es... ¿Quién es omega-R?*

*ALUMNO: Velocidad. CAB4*

Esta es una secuencia interrogativa donde el profesor presenta un **esquema conocido** por los alumnos que es la descripción mecánica de un cuerpo rígido que gira y que luego trata de vincularlo con el movimiento giratorio del electrón alrededor del núcleo planteado por el modelo de Bohr (**intenta familiarizar**).

### **C13 Preguntas diversificadoras:**

*PROFESOR: Y dicho trabajo de campo o trabajo total es variación de energía cinética. Si la carga estuviese quieta, es también la energía cinética.*

GRAFICO 10

*PROFESOR: Por ejemplo, podemos plantearlo para el caso de electrón: si tengo un electrón que sale con una velocidad  $v$ , y si tengo un campo eléctrico  $E$ , y el campo eléctrico va para allá (para la izquierda), ¿qué va a hacer mi electrón? Se va a frenar. Entonces, la consigna es frenarlo antes de que llegue a la otra placa. CEF2*

En el marco de recordar el concepto y la ecuación del trabajo del campo eléctrico sobre una carga, Casas promueve **ampliar y ejemplificar el significado** para el caso del electrón al que además se refiere en términos personales y amistosos: “¿qué va a hacer mi electrón?” **ampliando los significados denotativos con connotativos**.

### **C14 Preguntas aclaratorias:**

*PROFESOR: Antes de que hagan la cuenta, ¿tienen idea de cuál es la unidad de esto?*

*ALUMNO: El radio.*

*PROFESOR: ¿El radio? Sí, pero ¿de qué cosa? El radio del átomo de hidrogeno... CAB4*

Casas intenta que el desarrollo presentado en formato simbólico (MS) pueda ser situado en las dimensiones del radio atómico (**intenta ajustar significados**).

## **FASE C2 OTRAS PRÁCTICAS COMUNICATIVAS DEL PROFESOR**

### **C21 Lenguaje ficcional:**

*PROFESOR: Imaginemos un átomo: el núcleo, en órbita tenemos los electrones, viene radiación; imaginemos un balde, una pelotita de ping pong en el fondo del balde, y un chorro de agua con una manguera. La consigna es que la pelotita salga del balde. Uno podría pensar: echo agua, y agua, y agua, un caudal prolongado de agua y, en última instancia, cuando se llene el balde, la pelotita que flota va a salir del balde. Esta sería una concepción clásica. Acá viene el frente de onda, una onda que –digamos– transporta energía. Sería cuestión de que acumule más y más y más y más, energía y, a la larga, ese electrón recibió, acumuló, tanta energía de la radiación que termina escapando a la interacción del núcleo. O sea que uno podría pensar que si interpreto la radiación viajando como una onda (imaginemos que acá tengo el foco emisor, onda (...) esférica, y llegan acá, donde está la materia de este átomo, sería de esperar que, en más o menos tiempo, al final se produzca el desprendimiento del electrón por “rebalsamiento”. Las cosas son como si el balde tuviera agujeros, es decir, en ocasiones esto no ocurre. Y no ocurre principalmente cuando la radiación es de frecuencia muy baja. O sea, es como si las radiaciones de muy baja frecuencia son incapaces de arrancar los electrones. No todo se logra. La otra es: radiaciones de mayor frecuencia. En las radiaciones de alta frecuencia las cosas son, no como si hubiera un chorro constante de agua, sino como, por ejemplo, una pistola que tira balines. Si el balín le da justo a la pelotita de ping pong sin romperla, y se pega a esa pelotita de ping pong, el balín y la pelotita se pegan y saltan (...). CEF2*

En la descripción inicial del EF Casas usa variadas formas comunicativas metafóricas, analógicas y conjeturales tratando de facilitar el **traslado de esquemas mentales conocidos a zonas desconocidas** que faciliten iniciar una modificación de la concepción clásica hacia la cuántica (**intención de familiarizar**).

### **C22 Proceso cognitivo propio:**

*PROFESOR: ... Pero este principio de complementariedad lo que propone es que en grandes órbitas (o sea, en las órbitas de mayor nivel electrónico), esto de que la frecuencia de emisión debería ser igual a la frecuencia con que gira u oscila el electrón es característico de la teoría clásica. Entonces, lo que dice el principio de complementariedad es que en la cosa grande, “macro”, las conclusiones de la teoría cuántica deben coincidir con las de la teoría clásica. Por ejemplo, les cuento el modelo mental mío, yo pensaba cosas de la teoría cinética de (...). Uno hace la descripción a partir de las leyes de Newton, etc., y obtiene, pensando que las leyes de los gases obedecen a las leyes de Newton, que la energía en promedio de las moléculas de un gas es proporcional a la temperatura [del gas].*

$$\overline{E}_{c(\text{gas})} \propto T$$

PROFESOR: Y, después, es imposible meterse dentro del gas y ver que eso sea así. Pero, en lo macro, por ejemplo, en un experimento del tipo (...), la expansión del gas ideal parece ser concordante con (...). **El principio de complementariedad apunta a cosas semejantes entre la teoría cuántica y la teoría clásica.** En los grandes números, los resultados deberían concordar con las consecuencias de los análisis que se hacen en mecánica cuántica y que coincide con la teoría clásica. CEF2

-----  
 PROFESOR: Lo que pasa [es que tenés todo]. Hardoy tiene esa capacidad de trabajo. Él puede estar en ochenta y cinco cosas en paralelo. Yo no puedo. Yo, cuando cierra el trimestre, tengo que dedicarme a las notas. Y cuando hay que ver un TP, me tengo que dedicar a ese TP, aunque ya haya habido tres años en los cuales lo hice. Para mí, no es fácil. Para él, es todo más fluido. EAB4

En el primer ejemplo Casas muestra su modelo mental referido a la teoría clásica de los gases con la intención de facilitar a los estudiantes un modo experto de pensar (el suyo) el principio de complementariedad de Bohr (establece comparaciones y semejanzas) y tratando de ayudarlos a ejemplificar situaciones complejas (intención diversificar).

En el segundo ejemplo Casas muestra su modo de reflexionar sobre la actividad de profesor facilitándonos cierto entendimiento de su estilo profesional (autocrítica y disconformismo).

### C23 Múltiples lenguajes:

PROFESOR: Mientras van llegando, completamos este modelo del efecto fotoeléctrico.

$$h f = W_{\text{extracción}} + E_{c \text{ máx}} \text{ de los } e^-$$

PROFESOR: Vuelvo acá. Donde dice "energía cinética máxima de los electrones" reemplazamos y ponemos  $e V_0$ . Si colocamos  $e V_0$  allá, vamos a tener:

$$h f = W_{\text{extr}} + e V_0$$

$$V_0 = \frac{h}{e} f - \frac{W_{\text{extr}}}{e}$$

PROFESOR: ...  $hf$  igual a trabajo de extracción más la energía cinética máxima (que es  $e V_0$ ), y este modelo que surge de interpretar la absorción también de forma cuántica. Simplemente, yo quería hacer reparar en que si despejo ese potencial de corte  $V_0$  (y acá el potencial de corte nos daba  $h$  sobre  $e$  por  $f$ , menos trabajo de (...), dividido  $e$ ), ¿cómo es esto? Si yo trabajo con una fotocélula, con una célula fotoeléctrica de un material determinado, esto es una constante: trabajo de extracción por unidad de carga. Modifico la frecuencia; mis variables son  $V_0$  y  $f$ . De esta forma, si yo pudiera obtener el potencial de corte para distinta frecuencia, y luego represento en un gráfico los valores del potencial de corte en función de la frecuencia de la radiación incidente, esperamos que dicho gráfico resulte una recta, recta en la cual el trabajo de extracción sobre  $e$  hace las veces de ordenada, y el  $h$  sobre  $e$  hace las veces de la pendiente.

GRAFICO 12

*PROFESOR: Esperamos un gráfico de este estilo. Se entiende que  $[V_0]$  aquí es la magnitud de la diferencia de potencial, es un potencial retardador (...). Ahora, este  $V_0$  es un valor absoluto; o sea, es lo que yo leo en el voltímetro cuando la corriente es (...). Pero leo el valor positivo, el módulo de esa diferencia de potencial.*

El episodio muestra la descripción de una **situación experimental** concreta (célula fotoeléctrica) mediante la **utilización combinada de los modos MS, MC y MG** con la intención de variar los soportes y canales comunicativos (**intención de diversificar**).

### **C24 Clima:**

*PROFESOR: ... Nos fuimos por las ramas... ¿no importa?*

*ALUMNOS: noooo!!! (varios a coro)*

*PROFESOR: Les pido cinco minutos para después terminar Bohr, antes de que toque el timbre. Aunque sea, vamos a terminar estas preguntas. La cuestión es que este personaje lo seduce completamente a Perón y entonces monta un laboratorio en el sur, en Bariloche. (...). Él lo seduce a Perón; y le dan dinero, unas estructuras impresionantes, compran equipos, materiales, etc. Y empiezan a trabajar aparentemente en el proyecto de fusión. Ustedes saben que la radiación de energía nuclear es básicamente por procesos de fisión o fusión. La fisión es trabajo: rompo un átomo pesado (...), y me dio dos atomitos, pero sale la radiación, y también energía. Ahí también aparece la fórmula de Einstein; se llama "defecto de masa", o sea, la masa de los productos es menor que la masa de los elementos iniciales, la energía y por la fórmula de Einstein, energía igual a  $m c^2$  cuadrado, esa diferencia de masa es energía que se obtiene (...). El problema de la fusión es simple: como la radiación no (...), sale de ahí, es complicado... en cada fusión va (...) de energía; entonces, este señor con una especie de arco en el protón... Aparentemente los físicos dicen que la idea no era muy errada, en el sentido de que, con un (...) sobre una masa de hidrógeno, él confiaba en (...). Pasaba el tiempo... Pero las cuentas que se hacen hoy (no lo recuerdo exactamente), de lo que Richter conseguía difiere en un orden. O sea que en realidad hubiera sido necesaria la temperatura que obtenía multiplicada por (...). Era una cosa infernal de equipar un laboratorio, pedir materiales a un lugar, pedir a otro, reparar el reactor, (...). El tiempo iba pasando. En el ínterin, creo que empiezan a aparecer sospechas hacia este señor Richter. Y ahí aparecen dos físicos, que fueron Gaviola y Balseiro (...) el del instituto que hoy lleva el nombre de Balseiro (...); que creo que estaba trabajando afuera y lo traen. Hacen auditorias y parece que el tipo hizo un fraude (...). Pero, entre los físicos, hay gente que dice que si no hubiera sido por ese (...). Parece que Perón tenía un discurso de que iba a vender al mundo energía atómica en botellas. Pero después Argentina tuvo físicos muy importantes, entre otros el señor Best (...) gran parte de (...) fue realizado por físicos argentinos, como (...) en los años '60. O sea, hay gente que dice: fue un fiasco, el Estado perdió mucho dinero, pero sirvió para capacitar a mucha gente y técnicas de enriquecimiento de uranio. (...). CAB4*

Los alumnos se muestran interesados porque Casas ha enriquecido el desarrollo del contenido cuántico con un **ejemplo tomado de la historia nuclear argentina (diversificación por R2)**. El clima generado es de **gran interés y los estimula a concentrarse y a participar** hasta la finalización del tema AB.

*PROFESOR: No, no, siempre surgen cosas imprevistas debido a la inquietud de ellos. Algunas podés contestar.*

*PREGUNTA: ¿Cuáles inquietudes, por ejemplo?*

*PROFESOR: Cuando estaba hablándoles del trabajo total y la energía cinética, y de pronto digo: ¿qué pasa si me cambian la distancia? Yo lo pensé. Después interviene Sebastián, que es muy agudo. Más aún, voy a volver a mirarlo, pero creo que lo que le respondí está bien. Seguro no estoy, así que lo voy a volver a mirar. Supongo que tiene que estar bien. Pero lo voy a volver a mirar. Eso te condiciona. Incluso vos estabas cuando vinieron estos chicos a [preguntarme por lo que les gusta y demás]. En este Colegio, no lo hace sólo sexto. Siempre me acuerdo*

*de un chico incluso que había repetido, estábamos hablando del campo eléctrico de placas paralelas; y él lo asoció y me dice que en Química acabamos de ver el experimento de Rutherford en el cual estaban las laminas de oro, y en ese momento no encontré la respuesta de que en el experimento de Rutherford la lámina de oro es neutra y el capacitor tiene carga. Pero yo creo que es bueno no tener toda la respuesta, porque obliga a retomar, a trabajar más. Siempre discutimos con Hardoy el tema de la radiación y la cavidad, y qué es esa cosa de la densidad de energía y cómo tiene que ver con lo que genera y con lo que desaparece. Son temas donde uno hace el modelo. Pero, ¿qué es lo que oscila con movimientos moviéndose? Cada año ves un poquito más. Pero [hay una semana] y esto es un modelo. ECEF2*

Los comentarios de Casas señalan un clima de **respeto por los estudiantes, por el estudio, la discusión conceptual y el trabajo compartido** entre profesores y estudiantes. También, alude a la intención de actualizar las vinculaciones con el desarrollo de otras materias y de otros cursos de Física (**aproximar y diversificar**).

### **FASE C3. MODOS DE PARTICIPACIÓN DE LOS ESTUDIANTES**

La fase incluye descriptores de textos desplegados por los estudiantes cuando tratan de comprender conocimientos cuánticos. Dado que el foco del estudio es la intervención del profesor estos aspectos sólo los señalamos como complemento y no los analizamos.

#### **C31 Preguntas:**

ALUMNO: *¿O sea que la frecuencia no modifica la saturación? CEF2*

ALUMNO: *¿Cómo hizo para calcular el radio de (...)? CAB4*

#### **C32 Cognición:**

PROFESOR: *Joules, ¿no? Y, para pasarlo a electronvolt, lo divido por... ¿Cuánto da?*

ALUMNO2: *¿Puede ser 1,6 [a la menos 27]?*

PROFESOR: *No, tiene que dar 13,6; la mitad.*

ALUMNO2: *Porque se olvidó este 2; 4,3 por 10 a la menos 18, dividido 2, o sea: 2,16.*

PROFESOR: *Ahí está. 2,16 acá. Y esto tiene que ser 13 con 6, ¿puede ser? Si no me equivoqué en algo...*

ALUMNO: *13,6.*

$$E_0 = -13,6 \text{ eV}$$

PROFESOR: *Bueno.... CAB4*

#### **C33 Resistencia:**

No encontramos ejemplos para este indicador.

### **Ingresando a las clases del profesor Hardoy**

Las clases comprensivas de cuántica en el nivel escolar medio

Libro I: La investigación

Ana Isabel Iglesias



Las clases del profesor Hardoy se desarrollan los días lunes de 12:45 a 15:40 h. en el Aula 25. Este es un espacio amplio amueblado con diez mesas y varias sillas alrededor de cada una. Las clases de Hardoy que observamos fueron cuatro y presentaron formatos diferentes, las del primer día fueron exposiciones a cargo del profesor y las de los tres siguientes fueron exposiciones de temas por parte de grupos de alumnos. Las clases que incluyen los temas Efecto Fotoeléctrico (EF) y Átomo de Bohr (AB) que analizamos en profundidad fueron presentados por grupos de estudiantes expositores con intervenciones del profesor.

En el primer día de clase observado (17-10-05) se inicia a las 14:30 h. con la presencia de 17 estudiantes. El profesor realiza una presentación en forma de paneo sobre algunos temas de la Física del siglo XIX a modo de una introducción al mundo de la Cuántica y de la Relatividad y luego introduce el tópico “Transmisión del calor” a partir de repasar las formas de transmisión y conducción y de mostrar un experimento casero con el cual introduce conceptualmente el tema “Radiación del cuerpo negro” y las leyes de Stefan – Boltzmann, de Wien, de Rayleigh – Jeans y de Planck cuyos desarrollos se los deja como tarea. Los alumnos participan y se quedan cinco en el recreo consultando sobre la experiencia y la bibliografía<sup>79</sup>. El resto de las clases que observamos se desplegaron los días 24-10-05, 31-10-05 y 14-11-05 y los tópicos “Interacción radiación – materia”, “Modelos atómicos” e “Introducción a la Relatividad Restringida” desarrollados en cada una estuvieron a cargo de distintos grupos de alumnos. La distribución de los temas y la organización conceptual de cada presentación grupal fue planeada previamente por el profesor con los estudiantes. Durante la presentación de los temas por parte de cada grupo, el resto de los estudiantes toma nota, sigue las explicaciones a través del texto previamente indicado por el profesor y participa con preguntas y comentarios. El profesor interviene en todas las exposiciones ajustando la forma y el contenido de las exposiciones y usando láminas y transparencias como soportes de sus intervenciones. Las exposiciones de los grupos incluyen cuestiones teóricas y de aplicación previamente pautados con el profesor.

---

<sup>79</sup> Registramos “Óptica y Física Moderna” de Young y “Física I” de Hecht.

## **Dos días en las clases del Profesor Hardoy**

Presentamos una breve descripción de los días de clases en los cuales Hardoy ha desarrollado los temas más comprendidos dado que, como fue mencionado, en un día de clases se despliegan varios temas.

24-10-05 HEF2 La primera hora de clase comienza a las 13: 00. Hay 18 alumnos. El tópic que van a tratar es “Interacción radiación – materia” y la exposición a cargo de distintos grupos de estudiantes se hará siguiendo el orden que indica Hardoy: “Cuerpo Negro, Efecto Fotoeléctrico, Rayos X, Compton, Balmer”. Los grupos están conformados por 4 ó cinco estudiantes. Durante los primeros 10 minutos el profesor devuelve pruebas de Ondulatoria, entra el preceptor a controlar la asistencia sin pasar lista pues los conoce. Hay un clima intenso de trabajo en las mesas. El profesor se acerca a cada una haciendo aclaraciones sobre las notas, sobre un cálculo de propagación de errores, sobre próximas fechas y sobre las exposiciones grupales. Alrededor de las 13:30 pasa el grupo I (Hardoy dice: “A ver quién empieza, a ver los profesores”). A partir de ese momento y sobre todo durante la exposición del grupo 1, el docente interviene verbal y corporalmente (actúa) dando indicaciones sobre la forma de exponer y preguntar sobre un tema de física en un auditorio de neófitos y sobre la estructura del contenido, como analizaremos luego. Se preocupa por transferir el control de la clase (“¡Uds. me dan la lección a mi!”), detiene la exposición cuando prevalece el MS sobre el MC y propone al curso concentrar la atención en el concepto de cuantificación: “¿Qué tiene de fuerte este tema? ¡Muchachos: la energía está cuantificada!”. Pautan un breve recreo y al regresar terminan con la presentación de EF y cierra el día combinando fechas de recuperatorios y reiterando el orden de presentación de los próximos temas.

31-10-05 HAB3 La primera hora de clase debía iniciarse a las 13:00 pero se corre unos minutos porque el profesor viene de tomar una prueba en 2° año. Cuando ingresa Hardoy al aula hay 17 alumnos que trabajan intensamente ubicados en las mesas. La clase se inicia en un marco de

organización de las fechas de próximas actividades para finalizar el año lectivo. Es una conversación amena entre profesor y estudiantes donde se contemplan las posibilidades horarias de todos. En este 3° día de clases hay grupos de expositores que presentan cuestiones teóricas y otros presentan cuestiones de aplicación. Así el Grupo 1 hace una exposición sobre Rayos X y el Efecto Compton. Luego el Grupo 2 presenta los modelos atómicos de Thomson, Rutherford y Bohr (esto sucede en la 3° hora y parte de la 4°). Finalmente el Grupo 3 presenta problemas de aplicación sobre Rayos X y Compton. A continuación hacemos un microanálisis de las clases donde se desarrollaron los temas AB y EF más comprendidos y también de las entrevistas posclase.

### Microanálisis de la muestra II

A continuación presentamos el cuadro n° 12 donde listamos todos los indicadores previamente definidos y la ubicación de ejemplos correspondientes a las clases de Hardoy sobre AB y EF y de las entrevistas posclase.

**Cuadro n° 12. Caso Hardoy. Indicadores y ubicación de ejemplos**

	INDICADOR	Ubicación de ejemplos				
		HEF2 <sup>80</sup>	EHEF2	HAB3	EHAB3	Otros <sup>81</sup>
A11	Elementos ontológicos	16.		20., 30.,	43.,	
A12	Elementos epistemológicos	4.		20., 26., 47., 53.,		
A13	Elementos axiológicos		Pág. 149 <sup>82</sup>			p.251
A21	Trabajo práctico de laboratorio					p. 201, 217, 225, 233

<sup>80</sup> HEF2: Significa secuencia efecto fotoeléctrico, clase 2 de Hardoy ubicada entre las pág. 153 a 161 del ANEXO. Para analizar los episodios seleccionados (muestra de clases y entrevistas) se numeraron las intervenciones (número seguido de punto). Los ejemplos están separados por comas. EHEF2: significa entrevista post clase 2 Hardoy (pág. 211 a 214 ANEXO); HAB3: clase de Hardoy sobre Átomo de Bohr (pág. 161-163; 172-180; 184); EHAB3: entrevista Hardoy (pág. 214-219).

<sup>81</sup> En la última columna figuran cuestiones relacionadas con la intervención didáctica de Hardoy que fueron extraídas de otras entrevistas no pertenecientes a la muestra. Se ubican según páginas del ANEXO.

<sup>82</sup> Este ejemplo no pertenece la muestra, se ubica en el desarrollo del tema “cuerpo negro” (ver pág. 149 del ANEXO)

A22	Otros referentes experimentales y técnicos	1., 2.,		14., a 19.,	40.a 41. 44.,	p. 188
B11	Lógica y macroestructura		4.,	1.,	31.,	p.234,235, <b>236</b>
B12	Organización del contenido	30., 31., 33.		57.a 63., 131.		p.200,201, <b>203</b> , 223, 225, 226
B13	Relaciones	35., 41.		28		
B21	Propósitos	27., 45., 57.	6.,	20., 55.,	26.a 28.,	p. 188, <b>202</b> , 226, 227, 240, 257
B22	Actividades	46., 47.	2., 27.,	9., 13.,		p. 204, 218, 226, 227, 239, 240, 250
B23	Recursos	Graf. 13, 18., 19., 20.		139.a141.	7.a12., 18.,	p.201,
B24	Evaluación		2., 14., 15.,	2.a 7., 10. a 13. 145., 195.	20., 48.,	p. 188, 189, 214, 215, 220, 221, <b>223</b> , <b>225</b> , 240
B25	Métodos		9., 10., 24.,		4.a 6., 18., 56.,	p. <b>202</b> , 238, 241, 255, 256
B31	Más allá de las fórmulas	43.,		21.a 25., 113.a 115.,	35., 54.,	p. 247,248,250
B32	Obstáculos conceptuales	16.,	9., 19.,	28., 33.a 37.,	35.,	p. 201
C11	Preguntas aproximativas	47.,		28., 63. a 72.,		
C12	Preguntas familiarizadoras	27., 28.,		132.a 134.		
C13	Preguntas diversificadoras	20.				
C14	Preguntas aclaratorias	22. a 23.,		81.a 86., 109. a 112.,		
C21	Lenguaje ficcional	3., 27.				
C22	Proceso cognitivo propio		8.,			p.257

C23	Múltiples lenguajes			42.a 45.,		p.248, 255
C24	Clima		15., 16., 17.,	87.a 99.,	54.,	p.191,252, 257, 258
C31	Preguntas			52., 77.a 80., 120.a122., 124.,		
C32	Cognición	7., 9.,10. 32., 42.,60., 61.	27.,	29.,31., 38.a 41., 74.a 76., 100.a 112., 116.a 120. 126.a 130. 142.a 144.	12.a16.,	p.257
C33	Resistencia	67.,				p. 215

## FASE A1 TEÓRICO-FILOSÓFICA

### A11 Elementos ontológicos:

*PROFESOR: Bueno. Ahora seguiría Bohr. Vayamos lentamente a formarnos de nuevo esta situación; hay dos o tres cositas para charlar acá. Una cosa: vos estabas tratando de **dar explicaciones a estos fenómenos** que estuvieran mencionando acá. Una cosa interesante es la siguiente: **no se vio el átomo**. No es que vino alguien, miró y dijo “ahí hay algo dando vueltas”; sino que se hace lo siguiente: se establecen unos fenómenos, se obtienen unos datos y, de acuerdo con esos datos, todo sucede como si... Y después siguieron explicando. Si lo que siguieron explicando, el **modelo** que se hizo, sirve para explicar el átomo, todo sigue bien. (HAB3 – 20)*

Hardoy señala las características esencialmente teóricas de los objetos que se plantearán en la clase, es decir **el átomo es un modelo y por lo tanto “no se ve”**.

*PREGUNTA: Desde tu perspectiva, ¿cuáles son los **aspectos cruciales**, más importantes de esta clase, en general?*

*PROFESOR: Vos preguntás siempre lo mismo. Diría: de los **modelos** y de la **forma de de evolución**. O sea, en este momento, para mí, el tema de esta última parte tiene que ver con eso: evolución de los modelos y la ida y la vuelta entre la práctica y la teoría. O sea, de alguna manera uno me hace o me pone un antejo para que lo vea de algún modo, pero también los resultados me obligan a ver si no tengo que empezar a cambiarlo, o al menos a ver si es una premisa simple y chiquita que la puedo sostener cerrando los ojos o si tengo que empezar a estudiar el lente lisa y llanamente. Ese sería uno de los puntos. EHAB3*

En la entrevista posclase el profesor resalta **la importancia de que en este tema se trabaje la naturaleza (teórica o empírica) de los términos implicados, su evolución y sus relaciones**.

### A12 Elementos epistemológicos:

*PROFESOR:... Quiero saber unas cositas antes de entrar al átomo de Bohr porque, a su vez, lo que supuestamente intenta Bohr es dar una explicación que dice: “**esto es lo que está pasando dentro de la materia**”.*

Por eso, porque está pasando esto, se puede explicar esto otro, y esto otro y esto otro”. Entonces, siempre el asunto es el siguiente: **que entre en la teoría**, porque lo que estamos viendo en la práctica se está cumpliendo. Pero busquemos en la práctica alguna otra cosa que no la explique la teoría. Entonces, es muy difícil pensar la teoría por un lado y la práctica por otro, como si fuesen cosas totalmente disjuntas. Porque, en última instancia, tengo una cosa con la otra. Generalmente, cuando uno elabora una teoría, muchas veces se trata de investigar y buscar algunos experimentos para ver si no dan fuera de la teoría, no para debilitarla porque sí, sino porque la teoría no explica todos los fenómenos. Nosotros siempre tratamos de buscar la mayor cantidad de fenómenos explicados con una teoría muy chiquita si es posible. HAB3

-----  
 PROFESOR: ¿Las repasamos un poquito? Estos son los postulados. Sepan que acá hay una cosa. Acá hay algo fuerte. Lo que está diciendo Bohr es lo siguiente: “**permítanme aceptar estos postulados; pasa esto, esto y esto. Nadie lo ve. Ahora bien, si ustedes me aceptan esto, vamos a ver todo lo que podemos explicar ahora**”. HAB3

Hardoy interviene antes y durante la presentación por parte del grupo de expositores intentando marcar aspectos importantes de la producción del conocimiento físico como por ejemplo: **cuál es el fenómeno empírico, los casos negativos y el rol de los postulados en la creación científica**. Utiliza un tono coloquial y facilitador (“Ahora bien, si ustedes me aceptan esto, vamos a ver todo lo que podemos explicar ahora”).

### A13 Elementos axiológicos:

PROFESOR: ... Cuando se hace un modelo respecto de la física o de cualquier cosa, ¿qué es lo primero que se hace? **No es que a alguien se le ocurre de la nada hacer un modelo**. Primero se dice: “mirá lo que está pasando”. Claro, debe pasar esto. Pero pasa esto y pasa esto. Cuando uno hace un experimento y no da lo previsto, se pregunta “¿qué pasó?”, e inicia la investigación. Si **no tenemos cierta honestidad**, decimos: “es la función”, y no investigamos más. En la investigación, uno intenta dar explicaciones dentro de lo que pasa. **En la vida real hacemos lo mismo... cuando un amigo te falla... Y lo que estamos diciendo es: cada uno inventó, con todos los conocimientos de la física clásica que tenían, “si pasa esto, entonces esto y esto”, sería tal ecuación. Pero tal ecuación no da. O da justito por acá; pero por acá no da. Eso es lo que hay que mostrar.**

ALUMNO: (...).

PROFESOR: **Con esto, repito, trato de apuntar a lo siguiente: uno puede inventar el modelo que quiera y justificarlo, pero el tema es que la curva dé esto y que no dé cualquier cosa. Se puede razonar muy bien, con mucha coherencia, con un buen par de postulados y un par de axiomas; muy bien, muy lindo, pero la curva, cuando hacemos el experimento, da así. Así es. Todo lo que se dijo es en base a cada uno: a uno le dio más o menos así, a otro le dio más o menos así. Por eso yo les decía que no se detengan tanto con la fórmula, porque (...). Aquí, el objetivo fuerte que tienen que tener en cuenta es el siguiente: la curva dio así, y lo tratamos de explicar...** (HCN2, pág. 149)

Este ejemplo está tomado de la clase 2, previo al desarrollo del tema efecto fotoeléctrico y en la secuencia donde un grupo desarrolló el tema “cuerpo negro” pues no encontramos ejemplos de este indicador en las clases y entrevistas de Hardoy incluidas en la muestra. La intervención del profesor alude a la **importancia que asigna a los valores y principios** que deben guiar el trabajo

científico y los conecta con un ejemplo de la vida cotidiana, la amistad, para facilitar la **comparación con un esquema conocido**. (Familiarizar).

## FASE A2 TÉCNICO – METODOLÓGICA

### A21 Trabajo práctico de laboratorio:

No encontramos ejemplos referidos al TPL en la muestra.

### A22 Otros referentes experimentales y técnicos:

*PROFESOR: ...El punto dos es que les voy a enviar un e-mail para decir si el 7 hacemos esta parte del trabajo del efecto fotoeléctrico. El 14 hacemos los siguientes problemas: 1, 2, 3, 4, 5, 7 (en el trabajo práctico vamos a hacer los análisis de estos datos; acá lo tienen al revés: tienen los datos que se usan en la experiencia, y estarían haciendo con el número 7 el ejercicio).*

*ALUMNO 1: ¿En qué guía están?*

*ALUMNO 2: ¿En la guía de cuántica?*

*PROFESOR: Sí, en la guía de cuántica.*

*ALUMNO: Entonces: 1, 2, 3, 4, 5, 7. El 6, ¿no?*

*PROFESOR: Sí, el 6 sí. El 9 (el 8 lo pueden dejar); hasta el 12. Es decir, hasta el ejercicio 12 (menos el 8). (HAB3, 14-19)*

Esta secuencia refiere a los aspectos organizativos y a la **diferenciación de funciones** que Hardoy le confiere a **los datos en un TPL y en los problemas**. El profesor plantea la posibilidad de realizar un TPL sobre efecto fotoeléctrico y establece cuándo y cuáles problemas de la guía se deben hacer. En medio de estas indicaciones comenta las tareas implicadas en los dos dispositivos didácticos mencionados. Así durante el TPL harán el análisis de datos y durante la resolución de problemas utilizarán los datos de la experiencia para hacer cálculos. En estos episodios prevalecen **las acciones comunicativas basadas en preguntas y respuestas**.

*PROFESOR: [...] Ahora me dejaste pensando en los ejercicios más operacionales. No es que no me interese, sino que si vos mirás la guía, en líneas generales son muy elementales. En esa aplicación (no digo “aplicación de fórmulas”), en cuanto a complejidad, el operativo no tiene demasiada complejidad. Además, es cierto algo con lo que yo embromo mucho: lo tiene que tiene de interesante la Física es que te obliga a hacerte preguntas inteligentes; no se trata de buscar las respuestas a cosas que no dicen demasiado. Es decir, buenas preguntas marcan mejor el camino que malas respuestas; o al revés, se trata de tener respuestas para ver qué pregunta era. Y estos temas me parece que son muy lindos para eso. EHAB, 3*

Los comentarios de Hardoy marcan la **limitación** que para este tipo de clases le sugieren los **ejercicios operacionales** y si, en cambio, la **importancia que les asigna a las preguntas inteligentes**.

*Pasa otro grupo a exponer.*

*EXPOSITOR 1: ...experimento de Hertz y del efecto fotoeléctrico. Lo que decía es que observó que una chispa salta más fácilmente cuando se la ilumina, es decir, cuando el electrodo es iluminado. En realidad, esta observación se dio accidentalmente. Él no se puso a profundizar el tema. Quien comenzó a investigar sobre esta observación fue [...]. Él quería probar la observación que había hecho (...) a partir de este circuito. Acá tenemos dos placas. Esto es la luz incidente sobre una de las placas. Esto es una (...) que tiene la chispa... HEF2*

Este ejemplo está tomado de la intervención de un expositor alumno donde inicia la presentación del tema EF con una **descripción del circuito diseñado por Hertz mediante un esquema de modelo** y algunos **comentarios de tipo históricos y del contexto de descubrimiento (R2)**.

El grupo todavía no ha logrado armar exposiciones adecuadas al nivel pretendido por Hardoy.

## **FASE B1 TRATAMIENTO DEL CONTENIDO**

### **B11 Lógica y macroestructura:**

*PROFESOR: Vamos a ir cerrando algunas cositas. Punto número uno: el lunes que viene no voy a poder venir; entonces, no tendremos clases. Era mi intención poder hacer la experiencia del efecto fotoeléctrico; que tengamos toda una base para eso. Pero estamos teniendo algunos problemitas para completarlo. Así que, en el último de los casos, les voy a enviar un e-mail al colectivo de ustedes, suponiendo que el lunes puedan venir en las dos últimas horas, o sea, antes. Porque creo que ustedes tienen cuatro horas; después, una libre... Si puedo arreglar lo del tubo y lo de Carlos, el ayudante, vamos cerrando todo el año, yo les envío para que vengan tres menos cuarto, porque no es mucho tiempo de ejecución del trabajo. Se los comunico por e-mail. (HAB3, 1)*

La cita alude a que Hardoy, para poder llevar adelante el tratamiento del contenido y la coordinación de las clases, **combina dos lógicas, la de la acción y la pedagógica**.

*PROFESOR: [...] Lo que yo estoy apuntando siempre es que este formato, para este último momento, lo que tiene de bueno es que uno siempre tiene el as en la manga. Son temas que son fáciles de dar oralmente; o sea, vos te parás y das la clase. La cuestión con estos temas (y con el resto de los temas; todos en realidad, pero estos en especial) es poder encontrar cuál es el problema, a qué problema le da respuesta, y no la respuesta. Porque la respuesta, en realidad, es tan compleja en su dimensión y en lo que abarca, que lo rico de la respuesta viene cuando ya entramos mucho más adelante en el tema. Estamos dando los primeros pasos. Entonces, poder hacerse las preguntas es lo más difícil. Uno ya lo tiene guardado: una filmina, el átomo de Bohr, el efecto fotoeléctrico, etc. Lo que es anormal es el proceso inverso, es decir, qué ruptura tiene que tener para que pueda ser aceptado lo que va a responder. Cuando de repente uno de los muchachos dijo: "ah, pero entonces esto explica las líneas de Balmer, que estaban antes"; sí. O esto de que, a la larga, haber encontrado la fórmula aún estaba muy lejos de haberse dado solución al problema; es más: el problema se había iniciado por eso. Y en ese punto yo les comentaba (pero no para descalificar a uno u otro):*



*al final de cuentas, buscar la ecuación o buscar algo que dé, lo puede hacer y encontrar alguien metódico, como puede ser un maestro de escuela secundaria. EHAB, 3*

El comentario de Hardoy alude a la importancia que tiene para él **organizar el contenido del tema como una macroestructura de “problema – solución”** (“*poder hacerse las preguntas es lo más difícil*” o a la inversa (“*haber encontrado la fórmula aún estaba muy lejos de haberse dado solución al problema; es más: el problema se había iniciado por eso.*”). Es decir que en este caso la ecuación empírica de las líneas espectrales planteó históricamente una de las fuentes del problema de la cuantización (la otra fuente provino del estudio del cuerpo negro). En otra intervención el profesor resalta que esta forma de **secuenciar el contenido en la enseñanza sigue un orden similar al que se dio históricamente**. La intención del profesor es establecer similitudes entre dos secuencias, la del desarrollo de la ciencia y la de su enseñanza (**intención de familiarizar**).

### **B12 Organización del contenido:**

*PROFESOR: ... De alguna forma, este dibujo me está diciendo: cuando llega luz de una determinada intensidad lumínica, a una determinada frecuencia, aparentemente arranco electrones a cualquier velocidad, a tal punto que, cuando voy haciendo esto cada vez más positivo, estarían llegando más electrones de los que salieron. Dicho de otra manera: supongamos que de aquí están saliendo volando mil electrones. Si todos salieran con la misma velocidad, llegamos ahí y punto; por más que aumente el potencial, o disminuya, llegan o no llegan. Ahora, ¿qué sucede si, al hacer más positivo a esto, me da una corriente más grande? Si la corriente me dio más grande, ello quiere decir que llegan los que ya llegaban antes sin necesidad de ser [...], más otros que no hubiesen llegado si no ponía potencial positivo. ¿Qué pasa si lo pongo más positivo aún? Llegan: los que llegaban sin ser ayudados, los que llegaban siendo ayudados un poquito, y los que vienen llegando por ayudarlos un poco más. ¿Hasta cuando es así? Hasta llegar a la intensidad de saturación. ¿Qué me están diciendo ahora? Ahora me están diciendo: por más que vos ayudes a que lleguen electrones, no van a llegar más electrones que los que partieron. ... HEF2*

Hardoy interviene en medio de la exposición del grupo con la intención de comenzar a profundizar la descripción desplegada por los estudiantes. Utiliza un esquema cartesiano de la intensidad de la corriente fotoeléctrica “*i*” en función de la diferencia de potencial “*V*” que acompaña con una **descripción en modo conceptual (MC)** para poder diferenciar la intensidad lumínica (o la de la luz de una lamparita) de la intensidad de la corriente fotoeléctrica (corriente entre las placas o entre ánodo y cátodo de una célula fotoeléctrica), (**intención de aproximar por discriminación**).

-----  
 EXPOSITOR: ¿Cuáles son los postulados? El primero es que en las órbitas fijas no se radia. Eso es muy interesante. En una órbita fija no se radia. El segundo, partimos de esto: la conservación de la energía, cuando hace cambio de una órbita a otra (...),

GRAFICO 8

EXPOSITOR: se conserva la energía;... se va a pasar al fotón, cuya frecuencia es calculada por:

$$h \cdot f = E_i - E_f$$

$h$  es la constante de Planck... El tercero es que el momento angular del electrón está cuantizado. Esto es lo que postula Bohr. Ahora vamos a hacer un análisis sobre lo que pasa con la fuerza y la energía. Si tenemos dos cargas, supongamos  $q_1$  y  $q_2$ , la fuerza de atracción entre esas dos cargas, según la ley de Coulomb sería:

$$F = K \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

$$F \cdot r = K \frac{q_1 \cdot q_2}{r}$$

Ahora bien, yo voy a multiplicar por el radio, y vamos a ver qué queda. Supongamos que este es el electrón y este es el protón... HAB3 57 - 63

Aquí el contenido se presenta como una **descripción que conecta los elementos cuánticos del 3° postulado de Bohr con conocimientos académicos previos** (ley de Coulomb) (**intención de aproximar**).

### **B13 Relaciones:**

PROFESOR: ....En una palabra, ¿qué hace que la luz sea más intensa? ¿Qué es lo que produce? ¿Qué significa que la intensidad sea más intensa? ¿Qué efecto produce que la luz monocromática sea más intensa?

ALUMNO: Que sea más brillante.

GRAFICO 15

PROFESOR: Pero, ¿qué pasa con este fenómeno? Por eso se llama "foto-eléctrico"; electrones, electricidad, por luz ("foto").

ALUMNO: ¿Los electrones necesitarían todavía mayor energía cinética para poder (...)?

PROFESOR: No, exactamente no. Es exactamente al revés. HEF2

Hardoy apela a una relación de **tipo interna (R1)**: “Por eso se llama “foto-eléctrico”; electrones, electricidad, por luz (foto)” tratando de lograr que los estudiantes diferencien entre intensidad luminosa e intensidad fotoeléctrica, pero aún no lo logran...

*PROFESOR: Totalmente. Claro, por eso, en 1907, 1908, un detalle no menor es que Bohr – así como en Copenhague, el maestro de Heisenberg – haga su trabajo rápido; o sea, de alguna manera abrevia mucho de lo que están investigando. HAB3 - 28*

Esta intervención de Hardoy alude al establecimiento de **relaciones externas (R2)** en el tratamiento del contenido con la intención de facilitar la **ampliación de contextos** ya que Copenhague es una obra de teatro que vieron los estudiantes y el profesor (**diversificar**).

## FASE B2 PRÁCTICAS COGNITIVAS

### B21 Propósitos:

*PROFESOR: Detengámonos un poco. Cuando uno dice que la corriente es más intensa o menos intensa, está diciendo: pongámosle algo más de luz que no se ve bien. Esto es lo que referimos, burdamente, con “intensidad de luz”; referimos: más energía, más potencia, por unidad de área. Muy bien... HEF2*

*PROFESOR: Quiero volver con lo de las series, porque es importante, porque ese “n” nos va a servir después. Es más de lo mismo. Lo que estamos diciendo aquí es: en una etapa obviamente se pudo ver el espectro visible, porque lo que hacía uno era mirar, tenía el instrumento. Para empezar a ver espectros fuera del espectro visible, necesitaba otros aparatos, porque obviamente la vista no los podía ver. Entonces, mientras se iban diseñando esos aparatos, ya a fines del siglo XIX, otros científicos entraron a ver siempre el átomo libre. ¿Qué vieron? Así como Balmer encontró una regularidad con ciertos espectros, (...) encontró otros y dijo: hay una familia, hay una serie de longitudes de onda que se emite en el espacio ultravioleta, que cumple esta función. ¿Qué función es? Exactamente la misma que la que tiene la fórmula de Balmer, pero en vez de estar dividiendo sobre 2, está dividiendo sobre 1... HAB3 – 20*

Las dos intervenciones de Hardoy refieren a propósitos diferentes, la primera busca detener la presentación del expositor con la intención de **discriminar dos conceptos** el de intensidad lumínica (concepto previo) y el de intensidad fotoeléctrica (concepto nuevo). La segunda pretende recuperar una situación para poder **conectar el conocimiento cuántico teórico (nuevo) con conocimientos empíricos previos** (la serie de Balmer) reiterando un **esquema conocido** por los estudiantes como es la fórmula de Balmer (aproximar y familiarizar).

*PROFESOR: Creo que te lo comenté: hacé la prueba, preguntale a la mayoría de la gente o charlando con cualquiera, cuándo se vio el primer átomo y con qué se vio. Y te van a decir: “más o menos, empieza con el microscopio electrónico,*

tendría que ser antes de la bomba, o después...”. La **idea de modelo es lejana**. Y estamos hablando de adultos, algunos son académicos en otras disciplinas. Esto demuestra varias cosas. Quizás no sea necesario saberlo. Pero también es cierto que, si pasaste toda tu vida por aulas donde estuviste viendo Física, Química, y **no te llevás por lo menos la idea de qué es un modelo** (y no de que no se trata de, simplemente, un átomo dando vueltas y ahí emite y ahí no emite), entonces eso es una de las cosas que... Además, me parece que lo que señalás también es más seductor, es más motivador. O sea, nosotros **no estamos acá analizando si Nu prima es igual a H sobre MC I menos coseno...** Nosotros estamos viendo las grandes ideas, lo cual también es una especie de cómo el hombre estuvo viendo el mundo. El tema no es chiquito. EHAB, 3

Los comentarios de Hardoy aluden a sus propósitos de lograr conectar a los estudiantes con la presentación en **modo conceptual (MC)** de las grandes ideas y **no tanto con el detalle de las ecuaciones o modo simbólico (MS)**.

### **B22 Actividades:**

*PROFESOR: Lo que yo tenía pensado para el lunes 21 (y también lo estuvimos hablando con los profesores) es, como cierre del tema relatividad, la posibilidad de que venga Ferrero a darnos una charla sobre relatividad, para que los ayude a ustedes y ustedes lo ayuden a él. La idea es que el último lunes, el lunes de cierre, ustedes vean los postulados de la teoría y algunas de las consecuencias que salieron de esos postulados. “Por considerar esto, pasa esto”. O sea, no tanto la deducción, que es lo que están haciendo todo el tiempo, sino qué consecuencias produce la teoría de la relatividad. Eso, para el 14. Respecto del 21, nos tenemos que poner de acuerdo, porque si él viene a charlar, le debemos dar por lo menos un mínimo de auditorio. ¿Les parece a las 14 h., en el mismo horario? O sea, nos comprometemos a venir el 21. Es una pequeña charla de más o menos una hora. Él puede por la tarde. El horario lo podemos charlar: 14, 13:30... Les podemos hacer preguntas. Igualmente, hay que hacer un análisis y va a responder quizás preguntas más precisas, más concretas. HAB3 - 9*

El profesor y sus colegas del departamento de Física diseñan e implementan distintas **actividades extra clases** como por ejemplo una conferencia a cargo de un físico especialista en Relatividad. Este tipo de actividades pretende estimular la **variación y ampliación de contextos (diversificar)**, el desarrollo de nuevas **conexiones entre conocimientos académicos nuevos y previos (aproximar)** y la posibilidad de generar nuevas **relaciones entre estudiantes y especialistas externos al colegio (traspaso del control del conocimiento)**.

*PROFESOR: ... Durante 40 años el Jefe de Departamento fue Perazzo. Seguimos métodos tradicionales, TP y bibliografía unificada. Ahora no... El Reglamento actual lo redacté yo y es una solución de compromiso entre lo que se hacía antes y lo que se pretende hacer ahora... Me pesa mucho la historia. Antes se controlaba mucho la asistencia, a mi no me interesa, pero sólo... Antes se veía todo del libro de Perazzo, Castiglione, Rela que son los apuntes de clase y trabajos de laboratorio que realizábamos acá. Ahora cada docente usa el texto que quiere, que le parece adecuado. Yo propuse los “viernes de charlas con los docentes” para conversar sus propuestas, sus dificultades, como ateneos, pero no resultan demasiado, quiero abrirlo a la comunidad, alumnos, padres,... En el tema museo hay muchos chicos trabajando, inclusive ese alumno mío que va a seguir Matemática. Él se interesó por el experimento de Galileo y su explicación matemática. Yo le pedí que no haga un desarrollo tan matemático sino más histórico.*  
EHEF2

El ejemplo alude a cambios estratégicos propuestos en el departamento de Física del CNBA que incluyen nuevas actividades como ateneos y charlas con docentes, padres y estudiantes y el desarrollo de un Museo Didáctico de Física. Dichas actividades refieren a las **intenciones de promover la participación y la negociación de significados** en comunidades más amplias, también a **ampliar las situaciones y a desarrollar relaciones de tipo externas** con el conocimiento escolar **(R2) (diversificar)**.

### **B23 Recursos:**

*PROFESOR: [Enciende el retroproyector y explica en base a una transparencia]... Bueno, **ahora vamos a la explicación** que estaba ahí, con los otros temas. Fijense que estoy trabajando con un nivel 1, paso a un nivel 2, a un nivel 3, a un nivel 4; y llega un momento en que, al final, está todo como un continuo. O sea, los niveles energéticos, al final, están tan próximos unos a otros que prácticamente podemos sacar un continuo. HAB3 – 140-141*

Hardoy interviene utilizando el retroproyector y una transparencia en el marco de la presentación de un alumno expositor. La misma contiene un **esquema gráfico sobre los niveles energéticos** para el hidrógeno y donde se observan algunas transiciones en cada una de las series de Lyman, Balmer y Parchen. Esta acción refiere a la **intención del profesor de usar los recursos materiales para poder ejemplificar y complementar visualmente (diversificar)** el desarrollo mediante ecuaciones (MS) que había planteado el expositor.

*PREGUNTA: ¿Ellos usan un apunte que vos les diste para estudiar?*

*PROFESOR: Sí. No, en realidad yo les tiro los temas en **distintos apuntes, distintos autores.***

*PREGUNTA: ¿Y vos les das los apuntes?*

*PROFESOR: Se los di el primer día. ¿Vos no estabas? No, claro, porque fue con lo de óptica. **Yo les doy una serie de libros.***

*PREGUNTA: ¿Qué libros son?*

*PROFESOR: **El de Tipler.** También estábamos viendo (...). Y **unos apuntes que tienen que ver con apuntes que vieron en Medicina**, sobre todo para aquellos que están más orientados hacia la parte de ciencias biológicas, como por ejemplo el último grupo. **O sea, eso se los di como ayuda.** EHAB 3*

Esta secuencia indica las funciones que Hardoy otorga al uso de apuntes y textos. En particular el uso de un **apunte de Medicina tiene la intención de ampliar las situaciones y los ejemplos (diversificar)**.

## **B24 Evaluación:**

*PROFESOR: Chicos: algunos de los que hicieron cada tema, ¿intentaron hacer los problemas? ¿No avanzaron en los problemas? Parece que no. **Simplemente lo pregunto para ver si les podían tirar algunas pistas a los que los van a hacer.** Muy bien. Seguimos el lunes. HAB3 – 195*

La cita representa una **novedad** en la orientación habitual con que se suele controlar la resolución de problemas. Consideramos que el profesor **intenta desarrollar la colaboración entre pares, o brindar andamiajes** sobre todo para aquellos que están más atrasados y **no el control formal** o el disciplinamiento.

-----  
*PROFESOR: De los temas que dimos, **me gustaron todos en su ida y vuelta**; pero, por ejemplo hoy, que haya aparecido este muchacho además implica otra cosa que me gustó. **¿Qué lectura le doy?** De estos aparece de una manera u otra. Lo que **me sorprende es que ninguno empezó a impresionar con recursos**; ninguno vino con recursos, con un disparador, un simulador, etc.*

*PREGUNTA: ....*

*PROFESOR: Yo veía que este muchacho era el tercer grupo. **Y este muchacho, con las preguntas que hacía, hablando de la cuantificación y todo lo demás, retomaba los temas de los otros compañeros.** En el medio, no hubo ningún tipo de evaluación o de ejercicio que se le haya pedido o algo, y lo respondía. Y lo venían siguiendo.*

*PREGUNTA: ....*

*PROFESOR: Sí, además el tipo de preguntas, de pronto preguntan “¿qué es n”. Después, si lo contestaron o no lo contestaron es otra cuestión. EHAB 3*

-----  
*PROFESOR:[...] El otro punto es (y a veces me cuesta): veo que **la forma en que empezaron a dar las líneas espectrales no me gusta, porque la mezclaban con el tema.** Como recién empezaban y ese muchacho anda bastante flojo (en líneas generales, siempre lo veo como muy inseguro), me costaba muchísimo (y eso es en lo que me quedo pensando) cómo puedo girar y decirle: “está todo muy lindo; es muy lindo todo lo que él dice, pero no sirve para nada”; o “empecemos de nuevo”. Esto me lleva al hecho de (y por eso te decía que **es algo que lo evalúo como bueno**) **no haber intervenido directamente, sino haber esperado a que termine [...]** EHAB 3*

-----  
*PROFESOR: ...Una cosa que me sorprende de las clases, no sé si lo observaste hoy, y me gusta que se haya notado, ya que estás haciendo el análisis; a veces aparece y a veces se queda en el tintero: **¿te diste cuenta de que hoy los chicos se enojaron...?** Bueno, no es que se enojaron, pero después de que me retiré y uno de los alumnos expositores dijo: “**hay algunas cosas interesantes, además de las que dio el profesor**” –y empezó a hablar el otro–. Y el otro muchacho, cuando yo me metía en la exposición, como que me apartaba. Yo me di cuenta porque los conozco. Lo que pasa es que en un momento me fijé la hora: se estaba yendo la hora, el tema no cerraba y el tema no es fácil. Incluso, a uno de los chicos que también estaba en el grupo tampoco le había cerrado el tema: confundía la energía cinética con... No es chiste. EHEF2*

Los comentarios de Hardoy aluden a **formas alternativas mediante las cuales él evalúa el despliegue del contenido** por parte de los expositores: cómo son las preguntas que formulan, cómo inician la presentación del tema o cómo conectan los conocimientos cuánticos con los previos -si distinguen la naturaleza de los elementos involucrados en las líneas espectrales y en las experiencias de Rutherford que terminaron con el reconocimiento del vacío-, por los recursos que usan -sencillos y familiares que focalizan el contenido y no el formato-, por las dificultades

conceptuales “*el tema no cerraba y el tema no es fácil*”, por la aceptación de los expositores a sus intervenciones: “*Y el otro muchacho, cuando yo me metía en la exposición, como que me apartaba. Yo me di cuenta porque los conozco.*” Consideramos que Hardoy trata de **evaluar cómo los estudiantes se aproximan, se familiarizan, negocian significados e intentan asumir el control del conocimiento** (evalúa cómo comprenden). También se refiere a cómo evalúa sus propias intervenciones.

### **B25 Métodos:**

*PROFESOR: Lo hago con estos temas y lo hago cuando conozco al grupo. O sea, nunca se me ocurriría hacerlo el primer mes o el segundo mes. Porque hay muchas cosas que acá aparecen. Por ejemplo, ¿viste el primer grupo? Yo no lo dejé terminar. No lo dejé terminar porque realmente ahí también aparecen los prejuicios del docente. [...]Entonces, por el poco tiempo que me queda y todo lo demás, yo iba especulando, en el sentido de decir: la clase formal, clásica, uno ya la tiene adentro; en el último de los casos, si al principio los chicos no pasan al frente, o si – como pensé– no van a agarrar el tema, porque –como pasó– **no plantean el problema**, no se meten con Balmer, mezclan a Balmer con lo otro, etc.; en tales casos, **yo tengo que intervenir**. No hablaron de la [línea de Lymann, no hablaron de la línea siguiente]. Entonces pensé: a lo mejor tengo que entrar. Después, me pasó al revés; tuve que saltar porque los chicos lo fueron trabajando. Entonces, **lo que este formato tiene de lindo y lo que a mí más me gusta es que avanzamos juntos en el tema**. En el fondo último, hay que cerrarlo; esto obliga a un cierre. No hay dudas de que obliga a un cierre. Pero este formato tiene más fuerza específicamente en este tema, porque en otros temas no, en otros no veo que tenga tanta fuerza. Porque acá lo que hay que **mostrar es cuáles son esas ideas fuertes que tiene el tema de cuántica; después, los ejercicios...** Hasta el mismo muchacho lo decía: “**bueno, hacer un ejercicio de estos no es tan importante**”. **Lo que me gusta ver es cómo marcan posibles dificultades**. EHAB 3*

Los comentarios explicitan cómo y porqué Hardoy opta por desarrollar el tema AB a través de exposiciones por parte de grupos de estudiantes con su intervención (**método interactivo – productivo intervencionista que equilibra aspectos dirigidos a los estudiantes y al objeto de estudio**). Considera que este método es el adecuado para desarrollar los contenidos de Cuántica porque así puede construirlos colaborativamente con los estudiantes (“*lo que este formato tiene de lindo y lo que a mí más me gusta es que avanzamos juntos en el tema*”) y le permite trabajar lo importante de las ideas (“*mostrarles cuáles son esas ideas fuertes que tiene el tema de cuántica*”), sin centrarse en los ejercicios (“*bueno, hacer un ejercicio de estos no es tan importante*”) y marcando las dificultades. Consideramos que Hardoy prefiere un método de trabajo que le permite aproximar, familiarizar, diversificar, negociar y traspasar colaborativamente el conocimiento.

### **FASE B3 PRÁCTICAS METACOGNITIVAS**

Las clases comprensivas de cuántica en el nivel escolar medio  
 Libro I: La investigación  
 Ana Isabel Iglesias

### **B31 Más allá de las fórmulas:**

*PROFESOR: ¿Se dieron cuenta de lo que hizo? Cuantificó las órbitas. O sea, con esta deducción hizo lo siguiente: qué radio puede tener el electrón, dónde puede estar el electrón respecto del núcleo. Puede estar sólo en el (...) de  $a_0$ . En realidad, lo que puso fue:  $Z$  lo dejó; entonces dijo:  $r$ ,  $m$ ,  $K$  y  $e^2$ , a todo este paquete lo llamo  $a_0$ . (...). Entonces, ¿qué radios permitidos tiene? Este, este y este. Entonces, cuando  $n$  vale 1, el radio es este. Este radio vale esto en la órbita fundamental. La órbita fundamental está trabajando a este orden. HAB3 - 113*

Hardoy interviene tratando de que los estudiantes construyan **nuevas conexiones con los significados implícitos** o con las ideas que están por detrás de la deducción de una fórmula que en esta situación es la idea de cuantificación, (**intención aproximar**).

*PROFESOR: Como te dije, ahí entra una de las cosas del profesor; si ahora yo te digo, por ejemplo, una cosa que me gustó de mí, del manejo de la clase, es que, en primer lugar, tuve un espacio para volver a darles espacio cuando le dije: “no, mirá ahora temo que no lleguemos a dar el átomo de Bohr”. Pudimos darlo y decirle “tomalo”. Porque me parece que el mensaje que uno está dando es: “miren que me importa todo”; no es que me importe más esto y esto no me importe tanto. Es decir, esta forma de mostrar “te tengo en cuenta” a veces influye mucho más que una deducción. Este es un punto. EHAB3*

Hardoy despliega mensajes y metamensajes que insinúan su intención de desarrollar aspectos distintos a los involucrados en las deducciones de fórmulas como por ejemplo respetar, exigir y alentar a los estudiantes a que **se comprometan y asuman el control del conocimiento**.

### **B32 Obstáculos conceptuales:**

*PROFESOR: ...Pero yo te respondería de esta manera: yo no me imaginé que la clase iba a ser así como fue; no me imaginé cerrar el primero y dejar semiabierto el segundo por ese error del comienzo. No fue un error, sino algo que se fue notando. Yo fui notando: primero, que la manera en que presentaban la gráfica los chicos no producía el ruido suficiente como para que los demás piensen, con admiración y entendiéndolo: “¡mirá lo que están dando!, ¡con razón se volví locos...!”. Ahí también hice trampa: yo saqué una filmína que tenía. Pero la tenía ahí... EHEF2*

Hardoy observa que pueden comenzar las dificultades conceptuales e interviene en la presentación de los expositores antes de que se vayan a cometer errores. Consideramos que Hardoy desde su experticia **anticipa los obstáculos e interviene como forma de colaborar con**



la introducción correcta del nuevo conocimiento, (**aproximar compartiendo la responsabilidad en la introducción del conocimiento**).

*EXPOSITOR: El tercer postulado que hace está relacionado con el “momento angular”. El momento angular, según Bohr, está cuantizado, o sea que la ecuación está relacionada con la constante de Planck, y sería:  $h$  es la constante de Planck.*

$$L = n \frac{h}{2\pi} \qquad L = n \eta$$

*PROFESOR: Supongamos que alguien te pregunte: ¿qué es ese momento angular que decís? ¿se acuerdan? [Se escuchan risas].*

*EXPOSITOR: Después se desarrolla.*

*PROFESOR: Está bien, pero ¿qué es eso? Me imagino que la mayoría dirían: es un tema que ya lo vimos. ¿Recuerdan qué es el momento angular? ¿Qué era? HAB3- 33-37*

El profesor prevé una dificultad que los alumnos de 6° suelen presentar con el concepto de momento angular y **la operacionaliza mediante una pregunta** que se anticipa al desarrollo del concepto aplicado al electrón, como pensaba hacer el expositor, (**anticipo de la dificultad e intento de explicitación usando esquemas conocidos: familiarización**).

## FASE C1 TIPOS DE PREGUNTAS

### C11 Preguntas aproximativas:

[1] *PROFESOR: ... El último detalle es lo que él estaba contando recién: lo interesante es que todo electrón que se está acelerando emite una radiación, una onda electromagnética. Si emite, pierde energía. Entonces, ¿qué sucede? Si yo tengo un cuerpo que está girando alrededor de esto y este va perdiendo energía, se supone que la velocidad que tiene ahora no es suficiente [...], y entonces se tendría que ir achicando cada vez más la órbita. Si cada vuelta es como una fuerza que lo está acelerando, ¿qué hace en cada aceleración? Emite, emite... HAB3 - 28*

[2] *EXPOSITOR: ...El protón tiene mucha masa. ¿Qué unidades puede llegar a tener? ¿Qué tipo de energía puede llegar a ser?*

*ALUMNA: Trabajo.*

*EXPOSITOR: Supongamos una persona en la tierra. ¿Qué energía (...) tendrá esa fuerza? En este caso, es energía...*

*ALUMNO: Potencial.*

*EXPOSITOR: Es la energía potencial a una distancia  $r$ ... ¿del electrón?*

$$V = -\frac{Z K e^2}{r}$$

*ALUMNO: ¿Qué es “Z”?*

*EXPOSITOR: El número atómico. Yo tenía esa fuerza  $F$ ..., si supongo la ley de Newton,  $F$  sería:*

$$\sum F = m.a$$

*la sumatoria de fuerzas –en este caso, la fuerza de atracción–, esa fuerza ¿cómo sería? ¿Qué tipo de fuerza sería, según lo que venimos diciendo? Es una fuerza centrípeta. Entonces, voy a tener la... del electrón, por la aceleración, que ¿cómo la puedo pensar? HAB3 63 – 72*

En el ejemplo [1] Hardoy pretende que los alumnos **conecten conocimientos previos** de electrodinámica clásica **con los nuevos intentando** preparar el camino para **introducir**, “**como necesidad**”, la **idea de cuantificación**, (**intención de aproximar**).

En el ejemplo [2] es el expositor quien pregunta para que los alumnos conecten la descripción de fuerzas y energía en el átomo con las fuerzas y la energía en el campo gravitatorio terrestre, (**intención de familiarizar**).

### C12 Preguntas familiarizadoras:

[1] EXPOSITOR: *Ahora nuevamente, ¿qué pasa con la frecuencia? ¿A qué era igual la frecuencia? Acabo de dividir la frecuencia por  $c$ ; y acá divido por  $c$ , y multiplico acá abajo. ¿Qué es esto?  $1$  sobre  $\lambda$ . ¿Qué pasa con esto, nuevamente?*

ALUMNO: *Es una constante.* HAB3, 124 – 125

[2] EXPOSITOR: *Nuevamente, ¿qué pasa acá? Cuando reemplazamos para obtener la energía sacando el radio, nos vuelve a dar una constante. Entonces, ¿qué me queda? Una constante que llamo:  $E_0$ ,*

$$E_0 = \frac{mK^2 e^4}{2\eta^2} = 13,6eV$$

EXPOSITOR: *Ohhhhhh!  $E_0$  también tiene un valor, que sorprendentemente es esto. ¿Qué es esto?*

ALUMNO: *Energía.* HAB3, 132 - 135

Los ejemplos [1] y [2] **inician las frases con la palabra “nuevamente”** insinuando la intención del expositor de que los alumnos **registren un esquema conocido y repetido** (como el reemplazo por una constante), (**intención de familiarizar**).

### C13 Preguntas diversificadoras

No analizamos ejemplos.

### C14 Preguntas aclaratorias

EXPOSITOR 1: *... Este caso es para una nueva frecuencia. O sea: este es para una frecuencia y este es para otra.*

PROFESOR: *O sea, para una misma frecuencia, si aumento la intensidad, ¿qué es lo que cambia?* HEF2

Hardoy interviene interrumpiendo la presentación del gráfico 14 por parte de los expositores porque nota dificultades y formula una pregunta con la **intención de ajustar significados**.

1. EXPOSITOR: *Bien. ¿Qué es este de acá?*
2. ALUMNO: *La energía inicial y la energía final, ¿con respecto a qué?*
3. EXPOSITOR: *La órbita, porque está la energía.*

4. ALUMNO: Ah, al cambio de órbita.  
 5. EXPOSITOR: Claro. Entonces la energía total, ¿qué va a ser? Si sumo las dos energías me va a quedar:

$$6. E = \frac{1}{2}mv^2 + V = \frac{1}{2}m.v^2 - \frac{KZe^2}{r} \quad [HAB3, 81-86]$$

La secuencia muestra una serie de preguntas diferentes. El expositor formula preguntas para **recapitular** (1 y 5) y el alumno formula una pregunta en base a un **esquema conocido** (ya está familiarizado).

## FASE C2 OTRAS PRÁCTICAS COMUNICATIVAS DEL PROFESOR

### C21 Lenguaje ficcional:

*PROFESOR: Ese dato es muy clásico: entra la radiación, absorbe supuestamente las partículas, las cargas, que según el modelo del electrón (año 1907, 1908, primeros años del 1900), la idea era la siguiente: voy dando cierta intensidad de luz a las partículas, a las cargas, a los osciladores, o a lo que fuese, y ellos van acumulando esa energía como quien va guardando el agua en una cisterna. La idea es que, al iluminar estas placas, se va almacenando energía o favoreciendo a las partículas (...). HEF2*

Hardoy introduce el EF utilizando una **analogía que compara un esquema conocido** (guardar agua en una cisterna) **con uno nuevo** (guardar cargas en las partículas), (**intención de familiarizar**).

### C22 Proceso cognitivo propio:

*PROFESOR: ... Entonces, yo tenía en claro que después de estas cuatro horas tenía que llegar a esos dos temas. Por eso, la pregunta me resulta difícil. Es raro. Por llegar, llegamos a esto. Si no llegamos a esto, entonces yo considero que la clase no fue buena. Si no hubo muchas preguntas, si los chicos no se hubiesen enojado, si el grupo se disparase para cualquier lado diciendo cualquier cosa... Porque incluso el que dijo las cosas mal, lo dijo con cierta lógica, y esa lógica de argumentación permite decir: "no, observen que eso es justamente aquello por lo cual nadie cuantificaba"... EHEF2*

El profesor tiene claro adonde quiere llegar durante sus clases señalando sobre qué elementos reflexiona para considerar que una clase fue mala o no, (**intenta autoevaluar**).

### C23 Múltiples lenguajes:

*PROFESOR: Muy bien, ese es el punto.*

*GRAFICO 7 [esquema de modelo del electrón desplazándose en una órbita]*

PROFESOR: Es decir, yo tengo una masa, con una cierta velocidad, que está girando alrededor de un punto. ¿Estamos de acuerdo? O sea,

$$L = v.m.r$$

me estaría dando el momento de la cantidad de movimiento. ¿Sí? Lo que está diciendo él, que es lo que dice Bohr, es lo siguiente: solamente los electrones pueden moverse en las órbitas donde se cumpla esto:

$$L = n \frac{h}{2\pi}$$

(HAB3, 41 – 45)

El ejemplo alude al **uso combinado y simultáneo de tres modos de comunicar (MC, MS y MG)** señalando la **intención de diversificar** el acceso a la comunicación cuántica.

### C24 Clima:

PROFESOR: ... En realidad, no es que no sabés con lo que te pueden salir, porque si lo he hecho en los últimos años es porque **tengo confianza en lo que van a hacer**. Más aún: **a mí no me pareció nada mal que este chico pueda expresar su mirada clásica cuando estaba dando exactamente lo contrario**. Se puede trabajar esa idea previa que es **tan fuerte**. No me parece malo.

PREGUNTA: Sí, cuando empezó con las ondas, te levantaste y dijiste: “paremos, paremos”; claro, porque vos querías...

PROFESOR: No, porque lo que yo les estaba diciendo era: “**no, vos no lo sabés, no es que están contando algo...**”. **Te cuento lo que les decía en el recreo a un grupito**: cuando te metés en un tema que no lo sabés, estás corriendo el riesgo de, por un lado, confundir todo; o sea, este tema tiene la misma importancia que todo el resto, porque al darlo en una perspectiva muy aplanada, al no saber bien qué es, al no enfatizar... Si, de repente, uno está explicando por ejemplo los armónicos y la analogía de la clásica estadística con la idea de ruptura de la gráfica para con el principio de, etc.; quiero llegar a lo siguiente: **yo salí porque me daba la sensación de que esos chicos se estaban metiendo en un terreno... Y no sólo ellos, sino también los otros**, porque los otros se quedan mirando la ecuación. Y no importa; nadie conoce la ecuación, ni el propio autor del libro. Porque lo que estaba contando simplemente es: uno hizo esto, vino otro e hizo esto, y vino este e hizo esto. EHEF2

Hardoy trata de **crear un clima de confianza**, donde se puedan expresar y trabajar las ideas previas respetuosamente.

1. EXPOSITOR: Por otro lado el momento angular  $L$  es igual a:  $L = n \frac{h}{2\pi}$
2. ALUMNO: [¿Eso es ...?]
3. EXPOSITOR: Sí.
4. PROFESOR: **Hacé “ $h$  sobre  $2\pi$ ”, para ver si lo conocen.**
5. EXPOSITOR: Ahora voy a llegar a eso.
6. PROFESOR: **Van a tener mucho de eso. Lo vieron en el apunte, en una de las partes; los libros, generalmente...**
7. EXPOSITOR: Acá vamos a despejar el radio. Entonces, nos queda que el radio es igual a... ¿Era el radio?
8. PROFESOR: **Pueden despejar cualquiera de las dos; o cuantificás el radio, o cuantificás la velocidad.**
9.  $L = mvr = n\eta$
10. EXPOSITOR: No, vamos a hacer la velocidad.
11. PROFESOR: Entonces, después despejás la...
12. EXPOSITOR: La velocidad era:

$$13. \quad v = \frac{n\eta}{mr}$$

HAB3, 87 – 99)

La secuencia señala la existencia de un **clima colaborativo y de confianza** donde el profesor intenta ordenarle la secuencia de presentación del contenido al expositor (4), pero el expositor posterga este pedido haciendo un **uso autónomo del conocimiento** (5), el profesor intenta vincular con elementos conocidos (6) (**aproximar**) y le **presta apoyo emocional positivo** al expositor (8, 11).

### FASE C3. MODOS DE PARTICIPACIÓN DE LOS ESTUDIANTES <sup>83</sup>

#### C31 Preguntas:

ALUMNO 1: Para llegar a esa ecuación que pusiste ahí, ¿habías multiplicado por radio? ¿Por qué es así?

ALUMNO 2: Esa es la fuerza.

EXPOSITOR: Claro, esta es la fuerza.

ALUMNO 1: Ah, ya entendí. (HAB3, 77- 80)

#### C32 Cognición:

EXPOSITOR 2: No importa la intensidad con la que se incide la luz porque, justamente, se delimita la intensidad de la energía. O sea, se hace que la energía valga igual a la constante de Planck por la frecuencia. Einstein dice eso, y entonces considera que la energía viaja en distintos paquetes, que él no denominó como “fotones” sino que después lo llamaron así, y esos paquetes tenían la energía, que era  $h$  por la frecuencia; o sea, mayor frecuencia, mayor energía. Y eso era totalmente independiente de la intensidad. La intensidad era cuántos paquetes de energía llegaban por unidad de tiempo. HEF2

El expositor trata de **vincular las descripciones previas** sobre el EF (gráficos y ecuaciones) con la explicación de Einstein, (**intenta aproximar**).

1. EXPOSITOR: Es una constante. Entonces, me queda:

<sup>83</sup> En esta fase incluimos descriptores que señalan algunas formas que despliegan los estudiantes en las clases cuando tratan de comprender conocimientos cuánticos. Dado que el foco de este estudio es la intervención del profesor estos aspectos los señalamos como complemento de lo que ellos hacen y por ello no se analizan en forma particular.

$$2. \quad \frac{1}{\lambda} = Z^2 \cdot R \left( \frac{1}{n_f} - \frac{1}{n_i} \right)$$

$$3. \quad R = \frac{mK^2 e^4}{4\pi c \eta^3}$$

4. *Ahora bien, todos estos valores se conocían en la época. Lo que hizo Bohr fue verificar esta constante, para que le dé como la constante de... Rydberg. Y le dio. Pero lo que hizo fue: como esto se podía verificar con mucha mayor precisión, con esta relación, lo que se puede hacer es (...). La energía, entonces, si la pensamos en función del radio, nos va a quedar así.*

$$5. \quad E_n = -\frac{mK^2 e^4}{2\eta^2} \frac{Z^2}{n^2} = -Z^2 \frac{E_i}{n^2}$$

(HAB3, 126- 130)

Se observa que el expositor logra una explicación con buen control del conocimiento (4) y de la clase mientras **va conectando los conocimientos cuánticos con los previos**, (función **aproximar**).

### **C33 Resistencia:**

*PROFESOR: Seguimos la próxima. Recuerden los problemas. [...] Les pido, tanto a los chicos de Compton, como a los que van a dar lo de las líneas de Balmer y el modelo atómico, que no se detengan en las fórmulas; deténganse en las ideas principales, (...) y si ven que la ecuación cierra. Si necesitan algo de esto para hacerlo, ayudarse con un machete... Clase próxima: Compton y átomo de Bohr. Después fijo las fechas de recuperatorio. Yo vengo martes y miércoles. Quiero charlar con Uds. tres para ver qué pasa con la materia... HEF2*

Hardoy está cerrando el día después de cuatro horas la clase. Mientras enuncia diversas tareas y recomendaciones solicita tener una charla con tres alumnos que no estuvieron participando de las dos últimas clases. En una entrevista posterior conversamos con el Hardoy sobre el tema (p.215 del ANEXO). El profesor se autocriticó por no haber detectado antes los motivos del “desenganche” ya que luego de hablar con uno de los estudiantes **concluyó que si hubiese ingresado al tema por los aspectos filosóficos hubiese logrado interesarlo**. Este caso de resistencia alude a la complejidad que representa el tema para algunos estudiantes y a la **preocupación del profesor por encontrar los modos que logren acercar los estudiantes a la Cuántica**.

### **Macroanálisis de otros elementos**

Las clases comprensivas de cuántica en el nivel escolar medio  
 Libro I: La investigación  
 Ana Isabel Iglesias

Hemos analizado otros elementos que pertenecen a la población de estudio como “otras entrevistas” y las respuestas al cuestionario de opinión aplicado a los estudiantes de los dos 6° años desde una mirada amplia. Para realizar el macroanálisis hemos considerado el material transcrito a partir de las desgrabaciones de audio, nuestras notas de campo y registros escritos. El procedimiento consistió en la lectura reiterada de los registros desde tres dimensiones: a) intervención didáctica utilizando los indicadores ya establecidos, b) conocimiento y desarrollo profesional del docente [Porlán y Martín del Pozo (2002); Goodson (2003: 735)<sup>84</sup>; Bolívar Botía, A. et al. (2004)<sup>85</sup>; Blanchard Laville (1996)] desarrolladas en el cap. III, y c) cuestiones vinculadas con el proceso de investigación y colaboración desplegado. El análisis realizado está representado en el cuadro n° 13 que sigue:

**Cuadro n° 13. Análisis combinado de otras entrevistas**

Fecha	Unidad	Cuestiones destacadas y ubicadas x página		
		Intervención didáctica	Conocimiento y desarrollo profesional	Otros temas
3-10-05	EC-181	Falta de tiempo p/problemas y simbolizaciones 183, 184; Buena organización departamental 184; Selección de alumnos y clima de trabajo 185; Actividades extras 186.	Colaboración y amistad entre pares 182, 184; Esfuerzo x preparar clases de FM 183, Desconfianza a la pedagogía, 190.	
3-10-05	EH- 187	Propósitos con orientación creativa, 188. Preocupación por la evaluación tradicional en CNBA, 188, 189.	Orientación propedéutica del CNBA, 188; Disconformidad con centrarse en MS, 188; Búsqueda de trabajo compartido 190; Respeto e interés x c/estudiante 191	
17-10-05	EH-200	Contenido adaptado al interés 200; Currículo y cambios compartidos 201; Recursos uso flexible 201; TPL poco significativo 201; Obstáculos y	Visión de la física en la escuela: debe ser amigable, desarrollar espíritu crítico, 203; Gran conocimiento del CNBA, 204	

<sup>84</sup> GOODSON, IVOR (2003) Hacia un desarrollo de las historias personales y profesionales de los docentes. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*. Septiembre – Diciembre 2003, Vol. 8, número 19: 733 – 758. Goodson, I. (2003) (versión original) Professional Knowledge, Professional Lives: Studies of Education and Teaching, Open University Press: Buckingham.

<sup>85</sup> BOLIVAR BOTÍA, A.; FERNÁNDEZ CRUZ, M. Y MOLINA RUIZ (2004)<sup>85</sup> Investigar la identidad profesional del profesorado: una triangulación secuencial. *Forum: Qualitative Social Research*. Disponible en: <http://217.160.35.246/fqs-texte/1-05/05-1-12-s.pdf> [fecha de acceso: marzo 2007]

		anticipación 201; <b>Propósito dirigido a la comprensión 202; Método grupal y comprensión 202; Contenido y comprensión 203;</b> Organización del contenido en el CNBA: más científico y propedéutico, 203; Actividades extras y becas, 204.		
14-11-05 14-11-05	EH - 212 EH/EC- 216	Evaluación 214, 215, 220; 221, Resistencia y estrategias, 215, Preparación de TPL, 217; Ayudas extras, 222	Formación y obstáculos 213 Necesidad de reflexionar sobre la acción, 215, Historia profesional, 217; Pasión por la divulgación de la física, 217, Reconocimiento profesional, 218, Museo, 218	Muestra alumnos, 218
25-4-06	EH - 223	<b>Evaluación 223, 225;</b> Tipos de contenidos en 6° 223; <b>Distinto interés en 6° 223; Currículo espiralado y R2, 224; Evolución de calidad en TPL, 225;</b> Ventajas de 6°: flexibilidad y respeto x intereses de alumnos, 225; 226, <b>traspaso del poder, 227</b>	Desarrollo profesional Casas 223; Críticas a la institucionalización de malos dispositivos, 225	Presencia del observador externo, 222
9-5-06	EID - 227	Características de TPL, <b>función del laboratorio y museo para motivar</b> y asistir al profesor 227-229; TPL, trabajos investigación extra clase, administración de notas y equipos, preparación TPL, disponibilidad 229, 230; cuidado del material x los estudiantes, 230; <b>tarea docente de ayudantes, 231;</b> poco uso de simulaciones FC, 232; MB trabajo de estudiantes con dispositivos históricos, 233; las Olimpíadas, 234		
9-5-2006	EH - 234	Lógica de contenidos, 234, 235; R1, historia del currículum, criterios y conceptos, 235 – 236; el Museo en la clase, 239; 240; trabajar proactivamente 240; traspaso del control, 240; evaluación y nota 240; lugar a la innovación 241;	Claridad en perspectiva curricular del CNBA, 236; política educativa y profesión docente 236; carencias en las representaciones del rol de profesor, 237; <b>docencia como arte, 238;</b> importancia del juego, la intuición para iniciarse en la física (de lo concreto a lo formal) 241; autoconocimiento (242)	
18-9-2007	EH -242	Metacognición 247, 248, 250; énfasis en modo conceptual 248; importancia de las actividades extras 250; Contextuación histórica y axiología 251; clima comprensivo, 252, 257, 258;	Acuerdos y contextualización para la colaboración 247, 248, 249. Interacción colaborativa, 253, 254, Experticia 256, estímulo profesional 256; propia cognición, 257	Gusto e interés x ser objeto de estudio, 244, 246, 254 Ajustes propuestos



		método 255, 256; modo conceptual y metacognición 255; intenciones 257;		249, 257. Colaboración, toma de conciencia 252; Aceptación y validación 255, 257.
--	--	--	--	---

### Inducción analítica

Las entrevistas posclase también las hemos analizado inductivamente (mediante ítems surgidos del análisis interno de los registros). Tomamos esta decisión basándonos en que la perspectiva colaborativa de este estudio requiere considerar especialmente la propia mirada de los profesores sobre su intervención didáctica. Estas entrevistas propusieron al profesor, a partir de la aplicación de un cuestionario semiabierto, una reflexión sobre sus clases y sobre otros aspectos contextuales y profesionales (ANEXO, pág. 4). Se realizaron con cada uno de los profesores por separado y nosotros después de finalizar cada una de las clases. Las sesiones se desarrollaron en la Sala de Profesores del Departamento de Física. Las preguntas formuladas no sólo indujeron respuestas específicas sino que además dieron lugar a comentarios sobre tópicos que preocupan a los docentes entrevistados. Los ítems de análisis y las preguntas que agrupan son los siguientes:

1) **Formato de la clase:** agrupa ideas extraídas de las respuestas a las preguntas 1, 2, 3 (¿Tenías pensado otras formas alternativas de dar la clase? ¿Crees que el camino elegido es el único o es el mejor? y ¿Por qué elegiste este formato?).

2) **Contenidos alternativos y lo más importante de la clase:** agrupa ideas extraídas de las respuestas a las preguntas 4, 5, 6 (¿Qué surgió espontáneamente o por la interactividad? Si supieses que tus alumnos conocen y comprenden mucho sobre el tema: ¿Qué aspectos hubieras obviado? ¿Qué aspectos hubieras agregado? ¿Cuáles fueron los aspectos más importantes de la clase?).

3) **Otros temas:** agrupa aspectos relacionados con la vida, la formación y la profesión del docente entrevistado.

4) **La ciencia en la escuela media:** agrupa ideas extraídas de las respuestas a las preguntas 7 y 8 (¿Cuál es el valor de la enseñanza de la ciencia en la escuela media? Y en esta escuela particular? Además, en esta escuela: ¿Qué lugar tienen la tradición y los cambios? ¿Se despiertan vocaciones?).

A continuación presentamos un resumen de los comentarios de cada profesor organizados por ítem y un ejemplo seleccionado.

### **Entrevistas Profesor Hardoy**

17-10-2005. Entrevista 1. Tema de la clase: Transmisión del calor

Formato de la clase

Hardoy cuando tiene poco tiempo prefiere hacer una presentación del contenido de enseñanza partiendo de las preguntas que le formulan los estudiantes, dentro y fuera de la clase. Pero si tuviese más tiempo, por ejemplo seis clases más, primero él mostraría superficialmente todos los temas, luego se detendría a § analizar físicamente los gráficos matemáticos y luego buscaría § relacionar los contenidos nucleares con los vistos en otras materias, o con § lo que más les gusta a los estudiantes, o con las orientaciones profesionales que tomarán sus carreras (química, matemática, etc.).

Para esta clase previó e intentó que los estudiantes realicen un experimento sobre “Radiación del cuerpo negro” mediante una simulación existente en un sitio de Internet que permite medir intensidades, dibujar la curva y luego analizarla. Como no fue posible ubicarla Hardoy preparó un experimento alternativo concreto mediante el cual se pudo medir y comparar las temperaturas alcanzadas por dos cuerpos, uno gris y otro negro. Si bien los cuerpos alcanzaron temperaturas de valores claramente diferentes<sup>86</sup>, el profesor consideró que la experiencia no resultó demasiado útil, dentro de los límites de tiempo que permitió la clase. Comenta que § siempre trae filmas y dibujos pues le resultan buenos soportes para explicar.

---

<sup>86</sup> Texto extraído de la clase 1: *Pasa un alumno a leer las escalas de los termómetros colocados en los recipientes:*

“ALUMNO: Dice  $T_{CN} = 52,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $T_{CGris} = 50,5\text{ }^{\circ}\text{C}$

PROFESOR: Es poca la diferencia entre cuerpo negro y gris...”

*“PROFESOR: En realidad, respecto de este tema, a mi me hubiese gustado, como te contaba antes, ver si entraba en esa página de Internet que tiene la simulación del experimento del cuerpo negro, porque juega mucho con los prismas y, de alguna forma, en ese experimento se pueden medir intensidades. Y de ahí llegar a la curva. No estaba. Siempre traigo alguna filmina, con algún dibujito o alguna cosita. Eso me ayuda, porque puedo ir y volver. Respecto de la parte experimental, le aposté más a ese experimento. No sé si antes lo hacíamos de otra manera. No le saqué demasiado el jugo porque no me gusta eso de mucho tiempo como para hacer creer que es un gran problema. Menos mal que, dentro de todo, el cálculo no dio muy mal. O sea, dio mayor el negro, un grado o dos. Pero no es muy significativo.”*

### **Contenidos alternativos y lo más importante de la clase**

El profesor a esta altura del curso (mes de octubre) conoce bien a sus alumnos y puede anticipar muchas de las preguntas que le harán. Hizo referencia a la escasez de tiempo para desarrollar los contenidos del curso y a la búsqueda de alternativas para mejorar la situación como, por ejemplo, plantear a sus colegas hacer cambios en la distribución de contenidos del programa de sexto. Considera que si los alumnos conociesen bien el tema, no hubiese dado él la clase pero les hubiese pedido que expliquen alguna aplicación del tema. Aparece la preocupación del profesor por § involucrar a sus alumnos con la materia y la § consideración de sus intereses en la organización y distribución de contenidos para las exposiciones grupales.

Los aspectos importantes de esta clase son § las preguntas formuladas y las ideas previas de los alumnos puestas en juego, como por ejemplo, § la sorpresa frente a lo discreto y también que, § a pesar de haberse determinado una fórmula o ecuación, no sea posible solucionarla en el marco del conocimiento existente en ese momento.

*“PROFESOR: Lo principal es, por lo que te decía de los cuatro o cinco chicos del final y, de alguna manera, por los dos o tres que preguntaron, el ruido que les hizo lo discreto. Y otro aspecto que señalaría tiene que ver con lo que estábamos viendo antes. Antes estábamos viendo sobre las ideas previas. Por ejemplo, cómo es que encontrar la ecuación no significa poder haber dado solución a una respuesta de mi materia. O sea, aquello de Heisenberg “si da, da”. Este “si da, da” no es tan así.”*

### **Otros temas**

§ La ciencia en la escuela media debería conocerse de una forma más interesante ya sea para orientar la elección de estudios futuros o para la formación del ciudadano que la valorará como factor de desarrollo para la sociedad. § La enseñanza de la Física debiese estar vinculada con la

curiosidad y § su estudio en la escuela media es importante pues obliga a poner en juego otras herramientas cognitivas, a desarrollar el espíritu crítico y nuevas formas de preguntar por el mundo cotidiano.

En el CNBA el lugar de la ciencia ha ido cambiando paulatinamente. Si bien el CNBA nació como una institución humanista, § ha ido creciendo el compromiso hacia las ciencias. Esto se visualiza por el aumento de carga horaria de las disciplinas científicas y la ayuda para comprar recursos en los departamentos de ciencias. § La mirada institucional está puesta en la calidad de los egresados, y la universidad es la que monitorea esa calidad. El peso de la tradición y de la historia es muy grande, hay burocracia en los procedimientos pero también hay intersticios para hacer cambios. § En el departamento de Física siempre se estimula el nexo de los chicos con los ámbitos científicos (becas en el Balseiro, conferencias en Exactas, en el Rojas, etc.).

*PROFESOR: Esta Escuela es muy especial, porque, en líneas generales, esta Escuela nace como una Escuela humanista, es decir, forma parte de aquello que va a dar los funcionarios, los que definen determinados elementos sociales. Obviamente que la ciencia está muy metida dentro de la sociedad y no hay que sorprenderse. Pero, en líneas generales, en estos últimos años hay un fuerte compromiso. Y eso se ve en las cargas horarias de las disciplinas. También se ve en cómo la cooperadora y otros elementos ayudan para que estos departamentos se desarrollen. La importancia es bastante fuerte...*

### **La ciencia en la escuela media**

La educación media en general puede pensarse sobre tres pilares: la formación del ciudadano, dar herramientas para el mercado laboral o para estudios superiores. § En el CNBA se destacan la perspectiva propedéutica u orientada a los estudios superiores y a la formación del ciudadano. § Respecto al lugar de la Ciencia, lo relaciona con la forma de desarrollar la disciplina y los trabajos prácticos de laboratorio de Física. En estos aspectos afirma que en el CNBA se hacen cuestiones parecidas a las de la universidad “pero en chiquito” pues buscan que los chicos que van a seguir estudiando no tengan demasiados escollos en las materias científicas. Es § necesario controlar algunos excesos como el uso de formalismos y la resolución de problemas de lápiz y papel. También es necesario § incentivar más a pensar que el mundo de la ciencia tiene que ver con lo creativo y el planteo de hipótesis, con ver que los modelos son estructuras mentales que

tratan de explicar los fenómenos. § La formulación de los trabajos prácticos debiese orientarse más hacia la búsqueda de datos que hacia el diseño experimental. § Respecto de los alumnos que no siguen estudios científicos, considera que el CNBA tiene un tipo de alumnos que se puede adaptar a la exigencia de los estudios que ellos ofrecen. § Las formas de evaluación son históricas “*el fuerte está en ejercicios de lápiz y papel*” y son “*dos pruebas escritas*”. § Preocupación personal por encontrar formas alternativas de evaluar más acordes con el trabajo científico y los chicos del CNBA. También muestra precaución frente a ciertas demandas simultáneas de objetividad y de trabajo personalizado.

*“Profesor: ...Las formas de hacer trabajos prácticos, donde la formulación de esos trabajos no está tanto en el diseño experimental, sino más hacia la búsqueda de datos. Igualmente, hay bastantes propuestas que intentan que los alumnos procesen esos datos. Pero caemos muchas veces también en ciertos problemas de acciones repetitivas, de lugares comunes en donde, bueno, el producto de la conclusión es más importante que el proceso por el cual se llega a esa conclusión. Pero también es cierto que uno está dentro de un sistema donde tiene una exigencia horaria, tiene un programa, tiene (¿?), que esto también para mí es una cosa muy fuerte, las evaluaciones, la forma en la que prescriben las evaluaciones. Prescriben hasta los contenidos, yo diría, hasta las metodologías, ¿viste?, la forma de evaluar, suponiendo esa “objetividad” que existe en la prueba escrita, por ejemplo, en el imaginario ¿no? social de padres, de chicos, de autoridades, de profesores.”*

## **24/10/05 Entrevista 2. Tema de la clase Cuerpo negro. Efecto fotoeléctrico**

### **Formato de la clase**

Centrado en la presentación del contenido por parte de grupos de alumnos. Hardoy § justifica el uso de la estrategia grupal y afirma que es la que mejor resultado le da cuando tiene que § desarrollar muchos contenidos en poco tiempo. Para aplicarla § considera las condiciones que debe reunir el curso: tipo de estudiantes, clima distendido, circulación de preguntas sin especulaciones por la nota, § poder cerciorarse de que quedarán cerrados los puntos nodales. Las clases con presentación grupal se hacen sobre § contenidos que no son totalmente nuevos, sino que los estudiantes tienen un acercamiento previo al tema durante instancias de resolución de problemas en las cuales un grupo trae cuatro o cinco problemas y los otros tienen que hacer preguntas sobre dichos problemas. § Los grupos deben saber muy bien lo que presentan para poder enfatizar lo importante y no “aplanar” todos los contenidos. § El siempre tiene “baterías

alternativas” para sostener el desarrollo de la clase, como filminas y fotocopias de libros, porque no se sabe “por donde van a salir”. § Los chicos eligen el aula y el tipo de presentación. § La clase está controlada de modo no estricto.

*“PROFESOR: ...Estas clases no las hacemos sobre un tema prácticamente nuevo, sino que hacemos lo siguiente: cuando resolvemos problemas, ellos venían con cuatro o cinco problemas, y los otros tienen que hacer preguntas sobre esos problemas, o sea: tenían que sobre-preguntar.”*

### **Aspectos alternativos y lo más importante de la clase**

§ Lugar que el docente otorga a las preguntas y a las actitudes de los alumnos. La seguridad y soltura que muestran algunos alumnos durante las presentaciones. Importancia a las actividades extraclase como por ejemplo una charla sobre Relatividad que está organizando el departamento de Física. § Condiciones de una interacción grupal adecuada: dominio y flexibilidad conceptual y capacidad metodológica del profesor. Frente a la aparente diversidad conceptual y formal de las presentaciones grupales: § los alumnos avanzan en el conocimiento y él puede controlar el proceso sin estrictez y mediante diversas estrategias.

*“PROFESOR: ...Yo pensaba que este grupo iba a tener mejor armado el tema, porque, como te decía, uno de los chicos es hijo de un físico. Entonces, pensé que lo iban a tener mejor armadito. Y me gustó porque todos lo tenían estudiado igual; no fue que se repartieron un pedacito para cada uno, sino que estaban todos más o menos al mismo nivel. Sin dudas, estaba más o menos armadito; pero cualquiera estaba hablando con cualquiera, lo ayudaba. ¿Viste cuando les hice hacer ese resumen? Era para volver de nuevo, porque me daba la sensación que estos puntos... Estos dos puntos...” “... Yo pensaba: no está sacando... Pero, de repente, cuando pongo la filmina me llevo la gran sorpresa de que uno me pregunta: “¿podemos poner la primera?”. Y usó ese mismo material. Eso me sorprende. Es más: yo me lo hice a mi interés, o sea, elijo qué puntos tratar. Por eso, es muy raro. O sea, en realidad te mentiría si te diría que no salió como lo esperaba. Pero si me preguntás: ¿qué es lo que esperabas?, ¿cómo va a salir la próxima?, te diría: tal como conozco a los chicos, creo que puede venir por este lado... Desde luego, uno tiene que tener baterías alternativas de distintos lugares...”*

### **Otros temas**

§ Observo un notorio conocimiento profesional: § experiencia en la enseñanza de los contenidos de sexto año y en la § coordinación del grupo de alumnos que lo conforma, § creatividad para lograr una buena gestión de los contenidos de sexto (a pesar de la escasez de tiempo producida

porque el día de las clases de física es lunes y la ubicación de la cuántica en la última parte del curso. § Conciencia de su poder como docente.

*“PROFESOR: Me siento raro, porque ¿salió? ¿Qué va a salir? No sé, no me lo imaginaba así. Pero, de todos modos, está dentro de lo... Quiero decir: la clase está controlada. Pero ese control no es una incertidumbre como si se estuviese en una nebulosa, pero tampoco es un control sumamente estricto. Te digo: es como estar caminando en una avenida, en una gran avenida. Pero es una avenida. Digo: no es un alambre, ni tampoco es un campo...”*

31/10/2005 Entrevista 3. Tema de la clase: Rayos X. Efecto Compton. Átomo de Bohr

### **Formato de la clase**

Hardoy profundiza su análisis sobre la aplicación de la estrategia grupal: § la adopta sólo con temas como cuántica y cuando conoce las posibilidades del conjunto de estudiantes, § el formato le permite avanzar junto a sus alumnos, § rescatar las ideas fuertes y § poder cerrar los contenidos, § el planteo de ejercicios sobre estos temas resulta importante no por la operatividad sino porque § permite detectar dificultades y § hacerse preguntas. También este formato, en la última parte del curso permite: § tener “siempre el as en la manga”, § que el tema lleve a los alumnos a buscar cuál es el problema que está por detrás de lo que exponen y no a buscar la solución (caso Balmer: el haber encontrado la fórmula no soluciona el problema sino que al contrario lo inicia). Hay una § dinámica típica en la exposición de los grupos: el primer grupo da la lección al profesor, los siguientes ganan en riqueza y soltura, y los últimos son muy interesantes. Igualmente siempre tiene a mano “la clase formal” por si faltan o no estudian. § Le gustaron todas las presentaciones de los alumnos (ninguno trató de impresionar con recursos materiales como las simulaciones), y el tipo de preguntas que surgieron.

*“PROFESOR: Pero... Lo que yo estoy apuntando siempre es que este formato, para este último momento, lo que tiene de bueno es que uno siempre tiene el as en la manga. Son temas que son fáciles de dar oralmente; o sea, vos te parás y das la clase. La cuestión con estos temas (y con el resto de los temas; todos en realidad, pero estos en especial) es poder encontrar cuál es el problema, a qué problema le da respuesta, y no la respuesta...”. “... Entonces, poder hacerse las preguntas es lo más difícil...”*

.....

### **Contenidos alternativos y lo más importante de la clase**

§ El profesor se ocupa de la distribución de temas, de la bibliografía y de su uso. Durante la enseñanza del tema previo (óptica) ha indicado a cada grupo, los apuntes y libros que deberán

consultar para preparar la exposición (Tipler, apuntes de Medicina, etc.). Comenta que § los apuntes se usan como “marca” pero no estudian de ellos, si de los libros, que además llevan a clase para seguir la exposición de sus compañeros. Respecto de la § valoración del manejo de su clase rescata los metamensajes que envía a los alumnos, como por ejemplo, cuando en las presentaciones les dice que deben cuidar todos los detalles (dando a entender que § a él “le importa todo” y que tiene en cuenta a cada uno). La clase le gustó, además, porque pudo § controlar sus intervenciones (encontrar el momento adecuado para cortar), § marcar sus fortalezas, confusiones y carencias, sin invadir a los estudiantes.

Hardoy opina que lo importante de esta clase es: § diferenciar el modelo de la realidad que se pretende explicar, § detectar las grandes ideas que están por detrás de las ecuaciones, § observar la evolución de los modelos (ver que la evolución de las grandes ideas es como ver la evolución de la mirada del hombre sobre el mundo), § poder establecer un ida y vuelta entre la teoría y la práctica.

*“PROFESOR: ... Diría: de los modelos y de la forma de evolución. O sea, en este momento, para mí, el tema de esta última parte tiene que ver con eso: evolución de los modelos y la ida y la vuelta entre la práctica y la teoría.”*

#### **14/11/2005 Entrevista 4. Contenidos de la clase observada: Relatividad. Entrega de TP y de calificaciones.**

##### **Formato de la clase**

En la clase 4 un grupo de alumnos presentó el último tema de los que había distribuido el profesor para las presentaciones grupales y luego fue una clase de evaluación y cierre. Luego el profesor realizó la evaluación final del aprendizaje de cada alumno y al final cerró formalmente el curso. Tal como habíamos acordado, después que él se retiró del aula aplicamos la “Encuesta de opinión” a los alumnos para averiguar cuál fue el tópico de FMyC que más comprendieron. Del análisis de las respuestas y comentarios de esta entrevista rescatamos los siguientes elementos:

Contenidos alternativos y lo más importante de la clase



§ **Interés del profesor** por conocer la responsabilidad de los alumnos frente a lo que escriben (en la Encuesta de Opinión), § **creencias y desconocimientos que obstaculizan a los profesores:** § necesidad de establecer indicadores de evaluación de las propias clases, § lugar central de los alumnos y la importancia de conocerlos; § creer que existe una técnica para enseñar, § no saber cuándo y por qué se falla (o cuáles son los parámetros de evaluación de las propias clases), § no considerar los límites administrativos/operativos de la tarea docente.

*“PROFESOR: ...Por ejemplo, más de una vez me puse a pensar en los viejos profesorados, cuando uno va, charla, conversa o algo por el estilo; el pizarrón, tiene que estar bien o estar mal. ¿Qué quiere decir que el pizarrón tiene que estar bien o estar mal? ¿Quiere decir que es una forma ordenada o desordenada de lo que estás pensando? Entonces, siempre había técnicas: el pizarrón, se usa determinado material...”*

§ Una constante entre las acciones observadas y los discursos de este docente: el § lugar central de los alumnos y su preocupación por conocer los intereses y avances de cada uno: conocer estos aspectos le sirven como indicador para anticipar acciones e interesar a los alumnos por la materia (Es un reto para él).

*“PROFESOR: ¿Sabías que el chico que hoy participó todo el tiempo era un señor anónimo en todas las demás, por no decir...?” “...Era el que venía después del recreo... Sí, es uno de los del fondo; y es más: la primera vez, la segunda y la tercera hora no entró. Después enganchó con el otro tema. ¿Viste que, de repente, dice: “en mi opinión no es así; yo te explico cómo lo leí” y siguió discutiendo y todo lo demás? Lo que yo pienso es que muchas de estas estrategias, que no son estrategias conscientes, sino que son como decir: yo tengo a los 26, yo tengo como reto que a los 26 les interese, sin disminuir al que más le gusta, ni tampoco perder al otro. Eso es un reto. Respecto de este muchacho, si yo me hubiese dado cuenta de esto, ya hubiese sabido para qué lado tomarlo: a él le gusta más el lado filosófico. Pero bueno, no podés entrar. Fue justo el último día. Te digo: me sorprendí al igual que vos; nunca tuve un planteo de esta forma con él.”*

### Otros temas

§ Formación docente, ser docente, aspectos gratificantes y peligros de la profesión, elección por la docencia, docencia como arte, interés por los resultados de esta investigación, aspectos de su biografía y de su desarrollo profesional como docente de Física. Comenta que la § formación del docente en el sistema es como la formación de un picapedrero o de un pintor de brocha gorda, porque forma a todos de la misma manera y legitima más el sacrificio que el deseo. § La docencia

tiene más que ver con la creación, es una construcción continua y sacrificada, con mucha energía si hay enganche con los chicos, tiene el riesgo de sistematizarse y de terminar haciendo siempre lo mismo, § elección temprana por la docencia, la influencia de sus estudios previos, sus inclinaciones y su mirada artística de la profesión § interés por conocer los resultados de esta investigación colaborativa (quiere estar al tanto de los temas que más gustaron, y se pregunta qué es “la comprensión en sí misma”), § preocupación por seducir a los que no les gusta la Física y § el proyecto de construir, entre docentes y alumnos del CNBA, el Museo Didáctico del departamento de Física.

*“PROFESOR:...Entonces, creo que el sistema educativo hace eso: cuando forma, forma a todos de la misma manera, y de las mismas cosas. Entonces, no empieza a tratar de sacar lo que significa ser un docente. Para mí, un docente tiene que ver más con la creación... Porque, en el fondo último, ¿dónde está? Ahí también hay muchas falencias. Una cosa es hacerle interesar cosas a los chicos que a ellos no les interesa, y que me interesa sólo a mí. Y muchas veces se llega a que ni siquiera me interesa a mí; pero, como debo cumplir con el programa, con esto y aquello, entonces empiezo a cubrir todo con eso de los grados de responsabilidad. Es decir, muchas veces noto, en general, que parece como que estuviese más legitimado socialmente el sacrificio que el deseo. O sea, si hay algo que deseo, hasta tengo que pedir disculpas, por las dudas de que piensen que soy egoísta, o narcisista, o un montón de cosas que están mal catalogadas. Si, en cambio, esto es un sacrificio, porque vengo todos los días y los chicos vienen cada vez peor, parecería como que tiene un mayor valor.*

### **Entrevistas al Profesor Casas**

#### **3-10-2005: Entrevista 1. Tema de la clase. Transmisión del calor por radiación**

##### **Formato de la clase**

Casas tiene formas alternativas para dar el tema: comenzar con la observación de una lámina sobre espectros, § incluir trabajos experimentales, § usar recursos alternativos (como Power Point, etc.), § que la explicación de problemas quede a cargo de grupos de alumnos. En este curso no pudo concretar este tipo de alternativas por § falta de tiempo (por su poca experiencia con los temas cuántica y dificultades técnicas con los aparatos de FM. Le resulta más § cómodo explicar en el pizarrón y “seguir los libros”, pero no es el formato que él considera “bueno”, § no le preocupa cumplimentar todos los contenidos, ni dispersarse pues está “explicando más a los que más les gusta, más saben y más van a volver a ver” el tema.

*“Profesor: Yo parto... Sí, pero... O sea, el curso de sexto... ¿Cómo explicarte? Ellos se van, porque yo no... Entonces a mí no me preocupa tanto cumplimentar todos los contenidos, porque les estamos explicando más a los que más les gusta, más saben y más van a volver a ver. O sea que dispersar el tema no me preocupa, en definitiva. O sea, del curso de sexto, los que ven que no es para ellos, se van. En general, ocurre eso: siempre, si comparás la lista al inicio y al final, no hay aplazados...”*

### **Contenidos alternativos y lo más importante de la clase**

Mejorar y profundizar significa: § trabajar más los aspectos formales, § dar más espacio a los alumnos que son muy buenos § cambiar ciertas pautas comunicativas permitiendo a los alumnos hacerse cargo de la explicación de los problemas pues aumenta su participación (los resuelvan, saquen información de libros extranjeros, los traduzcan, los vuelquen en diapositivas con animaciones en Power Point y los presenten a sus compañeros en el anfiteatro), permitir que el profesor tome un lugar más lateral (organice las consignas, las lecturas, la participación y el tiempo), § tener más tiempo para el armado de la clase (repite varias veces y en todas las entrevistas).

*Profesor: Sí, darles más espacio a ellos, que en definitiva hacen mejor que nosotros las cosas.*

*Pregunta: ¿Que en definitiva qué?*

*Profesor: Hacen mejor que nosotros las cosas. Cuando ellos preparan... Claro, no podemos pedirles que preparen todo, pero tomar cada grupo... y hacen un trabajo grupal. Sí, por ahí es eso, yo llevar una parte más... más... más lateral, digamos, como más desapercibida, y proponerles por ahí consignas y lecturas. Consignas, lecturas, darles un tiempo y después participación...*

### **La ciencia en la escuela media**

Los alumnos del departamento de Física del CNBA § viven un clima y una organización de actividades orientada a valorar aspectos importantes de la ciencia como es la realización de ejercicios experimentales colectivos y formas de contacto con científicos a través de cursos, conferencias, becas, § las diferencias con otras escuelas se asocian con la selección del alumnado (ingreso mediante un riguroso examen) y la facilidad para enseñar que de eso se deriva.

*Profesor: ...Porque acá siempre hay... no sé, chicos... el día de las clases de ondas, en cuarto, ponemos todo el curso en el pasillo y agarramos esos resortes largos y uno en cada punta del pasillo, los chicos fuera del aula, y no hay problemas con eso. Entonces, ven (¿?), ven si viaja rápido la onda o qué es lo que pasa. Entonces, tienen como...*

## Otros temas

Aspectos que favorece la elección por 6° Ciencias: § antigua amistad que mantienen varios colegas del departamento, § sentimiento de pertenencia al CNBA de los profesores (en su caso no fue constante por cuestiones de distancia) :

*“Profesor:... Los profesores somos todos amigos, inclusive. Nosotros, aparte de trabajar acá, por ahí nos reunimos un sábado en la casa de uno o en la casa de otro, y eso hace que haya una... No sé, me parece que los chicos ven que Física es una cosa un poco distinta que otras materias. Y por ahí no es casual que aumente el número de alumnos que se vuelcan a nuestro sexto, digamos. No te puedo decir, a lo mejor es pura casualidad, pero por ahí... este...”*

## 17-10-2005: Entrevista 2. Tema de la clase: Interacción radiación - materia. Efecto fotoeléctrico. Efecto Compton.

### Formato de la clase

§ Búsqueda de alternativas experimentales para la enseñanza del tema (no reiterar el modelo expositivo y teórico de las clases) pues es conveniente hacer el experimento, hacer gráficos con los valores hallados y analizar las curvas de corriente fotoeléctrica. Es importante experimentar y luego buscar el modelo que funcione para explicar eso. No busca la justificación empírica pero trata que las leyes se subordinen al experimento. § Lamenta no haber podido concretar el experimento por dificultades en el funcionamiento del equipo, a pesar de haberle dedicado varias horas de la semana anterior. § El modelo de trabajo es “*describa, explique, e interprete lo que está allí*”.

*PROFESOR: ... Yo preferiría que se lleven del Colegio, supongamos, la catástrofe del ultravioleta, o por ejemplo insistiría en h por f, con las cosas más básicas. Es una opinión personal. Si ellos tienen muy fuerte lo básico, me parece que es más productivo a que se sepa todo el desarrollo... En la clase intento insistir en eso.”*

### Aspectos alternativos y lo más importante de la clase

§ Las cosas imprevistas debido a la inquietud de los alumnos. § Que los chicos pregunten, profundicen y establezcan relaciones con otros temas y otras materias. § No tener todas las respuestas porque obliga a trabajar con más profundidad. § Si lo alumnos conociesen más el tema no hacer desarrollos ni cuentas pero si detenerse en los contenidos básicos pues prefiere que los

alumnos comprendan bien<sup>87</sup> (ejemplo, la catástrofe del ultravioleta o “*h.f*”). § Cuando no conocen el tema hace todos los desarrollos matemáticos para que los alumnos no caigan en interpretaciones incorrectas.

*PROFESOR: Tal vez hubiese ido un poquito más rápido. No sé. Como está el tema, ellos después lo vuelven a ver. Yo preferiría que se lleven del Colegio, supongamos, la catástrofe del ultravioleta, o por ejemplo insistiría en *h.f*, con las cosas más básicas. Es una opinión personal. Si ellos tienen muy fuerte lo básico, me parece que es más productivo a que se sepa todo el desarrollo que viene del Compton?...”*

### Otros temas

§ Expresa frustración por no lograr presentar los experimentos, por no poder probar el funcionamiento de los equipos para rearmar y actualizar los TP de sexto (pedido el director del Departamento). § Se siente “culpable” por no hacer más de lo que hace.

*“PROFESOR: Me genera un hondo sentimiento de culpa...”. “Porque creo que todos somos conscientes de que podríamos hacer mucho más de lo que hacemos. Pero es más trabajo.”*

### 31-10-2005: Entrevista 3. Tema de la clase: Interacción radiación – materia. Efecto Compton y Rayos x

#### Formato de la clase

Clase basada<sup>88</sup> en: demostración de una experiencia sobre el funcionamiento del dispositivo de rayos X y del efecto fotoeléctrico (aunque éste no funcionó), uso de fotocopias y láminas (sobre la “Radiación electromagnética”), extenso repaso de los temas dados en la clase previa que terminó la explicación de Bragg sobre difracción de rayos X. Quejas sobre la escasez del tiempo (porque tiene clases los lunes, hay muchos feriados y porque se detiene en las cuentas). §

<sup>87</sup> Estos comentarios aluden a la importancia de aproximar y familiarizar para comprender.

<sup>88</sup> El Profesor ha preparado mucho las experiencias y la clase. Además de los equipos, trajo fotocopias y una lámina que colocó en la pared (esta contiene informaciones sobre la “Radiación electromagnética” organizada en dos columnas. La de la izquierda con una escala de radiaciones y la de la derecha con los instrumentos que las detectan y los aparatos que las producen). Explicó con mucho detalle cada elemento de los equipos y de los experimentos. Fue cambiando variables como por ejemplo en el aparato para el efecto fotoeléctrico cambió filtros de colores, es decir cambió frecuencias y comentó que Millikan había medido los potenciales de corte para distintas frecuencias. Esta última experiencia interesó mucho a los alumnos.

Necesita hacer los desarrollos matemáticos referidas al efecto Compton (para mostrar que si la onda que sale es igual que la que incide este efecto es similar al fenómeno de dispersión de la luz).

*“PROFESOR: Yo tenía una idea. En realidad, no estoy calculando bien los tiempos. Yo pensé que me iba a alcanzar para más. Más aún: pensaba mostrar el aparato de rayos X y el de fotoeléctrico después de terminar Bragg y hablarles del modelo de Bohr. Pero me faltaron, no sé, calculo que dos horas de clases.”*

### **Aspectos alternativos y lo más importante de la clase**

§ El modelo físico “ $h$  por  $f$ ” pues permite explicar cuestiones tan disímiles como el efecto fotoeléctrico y el lumínico de rayos X (alude a familiarizarse con un esquema). § Hubiese querido hacer una síntesis después de Bohr, volviendo a Planck, Einstein, etc., como en años anteriores. § La función del profesor de sexto es: ayudar a los estudiantes a evaluar los problemas en vez de darles todas las respuestas y § enfrentarlos a problemas complejos (puede motivarlos más que “todo armado y racionalizado”). § Estilo autocrítico con extrema conciencia de limitaciones y cuestiones pendientes (los problemas, las profundizaciones y las síntesis al finalizar los temas), y no de sus capacidades (se muestra siempre preocupado, con deuda por “no ser físico”, también compartida con su colega).

*PROFESOR: El modelo; o sea, el hecho de que con  $h$  por  $f$  podés explicar cosas tan disímiles como el fotoeléctrico, como el efecto lumínico de rayos X. Sí, el modelo. Quizás tendría que profundizar un poquito más el modelo. Normalmente, después de Bohr, y esta es la diferencia con años anteriores, paro un poco y hago como una síntesis, y entonces vuelvo a Planck, a las fórmulas de Einstein...”*

### **7-11-2005: Entrevista 4. Temas: Modelos atómicos. Modelo de Bohr.**

#### **Formato de la clase**

§ Hubiese querido hacer algunos problemas y plantear el trabajo grupal final (supone que intimidando a los alumnos va a mejorar la asistencia a clase). § Se queja por las inasistencias y otras prioridades de los alumnos, porque el tiempo es escaso, por las diferencias jerárquicas y de experiencia entre él y su colega.

*“PROFESOR: Están faltando en exceso, y eso no me gusta. El grupo de Juan Manuel ya hoy va a hacer una semana seguida que falta. Y tenemos un día de clase por semana; si ellos faltan...”*

### **Aspectos alternativos y lo más importante de la clase**

Los aspectos importantes son conceptuales: § el análisis del espectro y la generación del calentamiento del cuerpo (por oscilaciones eléctricas o frenado), § relacionar la producción de los rayos X con el choque de electrones y la aceleración, § los temas más lindos son fisión y fusión, § se pregunta si irse “por las ramas” genera mayor interés, § los contenidos de FM son duros y oscuros (difícil la comprensión del modelo a partir de interpretar los datos que muestran los equipos experimentales como el de rayos X del CNBA y que los libros e Internet dejan dudas).

§ Le ocupa mucho tiempo la preparación de las clases, procesar calificaciones (intenta dar oportunidades de recuperación pues no le gusta que se vayan a examen o pierdan el año por Física). § El CNBA tiene muchos recursos materiales y humanos (como no puede usarlos todo lo que quiere y le piden siente estar en deuda con el CNBA y el director del departamento). § Gran responsabilidad con la preparación de la enseñanza (consulta con colegas e investiga sus dificultades).

### **Otros temas**

§ Quería ser farmacéutico (pero la vida y la falta de dinero lo fueron llevando a la docencia y a ser un profesor taxi. § Necesita sentir pertenencia en los lugares de trabajo y poner un valor agregado a la tarea de enseñar (arreglar o reflotar los equipos existentes).

*PROFESOR: No sé. Hoy fue un poco distinto porque nos fuimos un poco por las ramas. Lo que yo quise dejar como central es ese espectro, de cómo generar el calentamiento del cuerpo, o con oscilaciones eléctricas, o haciendo frenar a los electrones. Yo creo que no me vino mal que no se acordaran de... ¿Viste? Cuando surgió lo de los rayos X, que es por el choque, pero no podían relacionarlo con lo de la aceleración. Entonces, tal vez exagerar un poco sirve para que se les grabe. Tal vez eso es como lo central. Me hubiera gustado (pero nunca me alcanza el tiempo) trabajar más lo de los espectros. Tal vez irse un poco por las ramas los motive a leer más ellos, a que ellos lean por su cuenta. Tal vez son los temas más lindos; me refiero a la parte de fisión y fusión.*

### Análisis del cuestionario de opinión a los estudiantes

Al finalizar las clases de cuántica, como fue mencionado, tomamos un cuestionario a los estudiantes que tuvo la intención de seleccionar los temas más comprendidos y de averiguar los motivos e intereses que los llevó a dicha selección.

En la tabla siguiente organizamos los comentarios que acompañaron la selección de temas, según “motivos” y “aspectos interesantes” de las clases sobre temas más comprendidos de Cuántica. Tomamos solamente los comentarios aportados por aquellos estudiantes que tuvieron un buen desempeño (que obtuvieron calificaciones entre 7 y 8 puntos) de los dos cursos de Física observados.

**Cuadro n° 14. Motivos y aspecto interesantes que acompañan la selección de temas**

	<b>Motivos</b>	<b>Aspectos interesantes</b>
<b>EF</b>	1-Tuve que preparar la clase sobre eso. (2 alumnos) 2-Pude encontrar una lógica a los temas y comprender sus implicaciones. (2 alumnos)	9-La experimentación relacionada y las aplicaciones (2 alumnos). 10-Darse cuenta que uno no puede aferrarse siempre a una visión limitada de los fenómenos naturales como la noción de masa como contenedora de energía, cuantificación de la energía, alteración del tiempo y del espacio en determinadas condiciones. 11-La “visualización experimental”. 12-La utilización de elementos de laboratorio para ayudar a la comprensión del tema. 13-Las historias de los descubrimientos y experimentos junto con la teoría.
<b>AB</b>	3-Tuve que dar la clase y ya sabía algo de Química. (4 alumnos) 4-Me interesa todo lo relacionado al átomo. 5-Fue bien explicado por mis compañeros. 6-Lo veo como repaso de Química. 7- Es el tema más completo y de él se desprenden muchos hechos históricos relacionados y también relaciones políticas y económicas actuales. 8-Lo conocía, vi la obra Copenhague y presenta muchas relaciones políticas, sociales, económicas.	14-AB se ve en Física y Química sería interesante que hubiese una acción conjunta para su enseñanza, entre los gabinetes de F y Q. 15-Haber visto el tema anteriormente aunque en forma más sencilla, me pasa lo mismo con otros temas. 16-Dar los temas por grupos con acotaciones del profesor. 17-Que haya sido presentado como una charla entre todos los integrantes de la clase. 18-La cuantificación y ver la razón de las interacciones. 19-Enfocar más las aplicaciones y las relaciones con la realidad actual, es difícil pasar a la FC con tantos años exclusivamente dedicados a la FCI. 20-Dedicarle más tiempo al planteo matemático.



Un análisis de las opiniones de los estudiantes que acompañan la selección de los temas más comprendidos por ellos (EF y AB) desde la perspectiva de los indicadores construidos permiten considerar que los “motivos y aspectos interesantes” se relacionan básicamente con:

- Asunción del autocontrol del conocimiento. Opiniones: 1, 3, 10
- Conexión entre conocimientos académicos nuevos y previos. Opiniones 3, 6, 8, 14, 15, 18
- Vinculación entre conocimientos nuevos y esquemas conocidos. Opiniones 2, 9, 11, 12
- Negociación de significados entre pares. Opiniones: 5, 16, 17
- Importancia de las relaciones internas y externas del contenido cuántico: Opiniones: 7, 8, 13, 19, 20
- Interés personal. Opiniones: 4

#### **Parte IV. Síntesis**

##### **Perfil del Profesor Casas**

El microanálisis de las clases y entrevistas referidas a la muestra de clases más comprendidas y el macroanálisis de otras entrevistas referidas a la intervención de Casas permiten reconocer que este profesor se ocupa de:

*Con respecto a los elementos teórico-filosóficos:*

§ Describir los términos teóricos (radiación, frecuencia, etc.) y los términos empíricos (amperímetro, cursor, etc.) relacionándolos con situaciones o dispositivos conocidos por los estudiantes. (Busca familiarizar).

§ Diseñar y desarrollar clases coherentes con la metodología científica de producción del conocimiento físico ejemplificando y reiterando un esquema que él define como: “describa, explique e interprete”. (Busca familiarizar).

§ Reclamar principios éticos de parte de los estudiantes, como mayor participación y compromiso, para poder ayudarlos a establecer conexiones entre conocimientos académicos nuevos y previos (intención de aproximar).

*Con respecto a los elementos técnico-metodológicos:*

§ Presentar los TPL de 6° año con funciones didácticas orientadas a que los estudiantes: a) recuerden conceptos previos (ej. momento angular del cuerpo rígido antes de aplicarlo al momento cinético del electrón); b) conozcan recursos diferentes como soportes y ejemplos del esquema didáctico “describir, explicar e interpretar”. (Intención de aproximar, familiarizar y diversificar).

*Con respecto al tratamiento del contenido:*

§ Razonar y jerarquizar por un lado qué conceptos y variables físicas se deben trabajar, con qué actitud y mediante qué procedimientos conocidos por los estudiantes (ej. el análisis dimensional). Por otro lado, resaltar cómo el concepto de cuantización del momento cinético “arrastra” a la cuantización del radio, de la velocidad y de la energía. (Intención de familiarizar y mostrar macroestructura de causación).

§ Fluctuar entre una lógica pedagógica (presentación de fenómenos y de conceptos centrales) y la lógica universitaria (argumentación matemática).

§ Organizar el contenido mediante descripciones y explicaciones que apelan a: comparar los conocimientos previos con esquemas conocidos, la contextualización cronológica (R2) y a brindar soporte emocional. (Pretensión de familiarizar, diversificar, brindar andamiaje).

§ Establecer semejanzas entre la secuencia didáctica que viven los estudiantes (R1) y la historia de la Cuántica (R2) intento de que los estudiantes perciban que el esquema desarrollado en las clases “describa, explique, interprete” es similar al proceso de construcción de la Cuántica. (Familiarizarse).

*Con respecto a las prácticas cognitivas:*

§ Jerarquizar las ideas y secuencias principales y reforzar las diferencias entre la perspectiva clásica y la cuántica. (Aproximar mediante una macroestructura de comparación)

§ Generar actividades basadas en procedimientos conocidos por los estudiantes (ej. sugerir el cálculo dimensional en el marco de un desarrollo en MS) para favorecer las conexiones mentales

“hacia atrás” entre conocimientos nuevos y conocidos y no para aplicarlos en nuevos casos. (Función aproximar).

§ Proponer lecturas complementarias como recurso principal de la clase y el cálculo numérico como recurso secundario con la intención de estimular nuevas relaciones (R2) y de ampliar contextos en vez de aplicar o ejercitar. (Función diversificar)

§ Lamentarse porque si bien prefiere evaluar mediante la resolución de problemas -resueltos en el aula y presentados en forma grupal- en este curso **tiene dificultades de tiempo** para lograr hacerlo y que atribuye a las inasistencias de los alumnos. (¿Dificultades por problemas latentes?)

§ Iniciar y conducir el tratamiento del tema EF mediante: la descripción empírica del fenómeno fotoeléctrico, la exposición de los conceptos principales mediante **tres formas de representar el contenido simbólicamente o MG** (esquema experimental, esquema gráfico y esquema de modelo), el establecimiento de conexiones con el conocimiento académico previo, la generación de modos conjeturales de pensamiento a través de analogías (ej. entre campo gravitatorio y eléctrico aplicado al electrón). (Intención de aproximar, familiarizar, diversificar).

*Respecto de otras prácticas metacognitivas:*

§ Estimular a “pensar más allá de las ecuaciones” a través del establecimiento de relaciones de tipo R2, el despliegue de relatos exclusivamente en modo conceptual (MC), la formulación de diversidad de preguntas y la propuesta de lecturas ampliatorias. (**Función diversificar**).

§ Operacionalizar sus supuestos sobre los obstáculos de los estudiantes respecto a la cuantización de la estructura de la materia sugiriendo una comparación entre cuantizar la emisión o recepción de fotones y cuantizar la energía de los niveles electrónicos. (**Macroestructura de comparación**)

§ Formular preguntas que buscan: a) conectar los conocimientos académicos cuánticos con los previos, b) vincular esquemas conocidos con esquemas nuevos, y c) ampliar, ejemplificar, situar y ajustar significados. (**Intención de aproximar, familiarizar, ajustar significados**).

*Respecto de las prácticas comunicativas del profesor:*

§ Usar formas comunicativas metafóricas, analógicas y conjeturales para trasladar esquemas

mentales conocidos a zonas desconocidas. También, combinar simultáneamente múltiples modos del lenguaje (MS, MC y MG). (Intención de familiarizar y diversificar).

§ Mostrar su modo de pensar sobre cuestiones disciplinares (ej. sobre la teoría clásica de los gases y el principio de complementariedad de Bohr) y sobre su actividad docente. (**Intención de diversificar y de autocriticarse**).

§ Generar climas de interés, concentración, participación, respeto por: los estudiantes, el estudio, la discusión conceptual, el trabajo compartido entre profesores y estudiantes y las vinculaciones con otras materias y otros cursos de Física. El clima resulta observable por los modos de participación de los estudiantes en las clases y recreos.

§ Averiguar los motivos de inasistencia a clase y tratar de disciplinar a los estudiantes.

El macroanálisis de “otras” entrevistas que mantuvimos con Casas permiten reconocer que este profesor también se interesa por:

*Respecto de la intervención didáctica:*

§ Buscar alternativas experimentales para la enseñanza de los temas tratando de cambiar el modelo expositivo por el de “*experimentar y luego buscar el modelo que funcione para explicar eso*” es decir, hacer experimentos, hacer gráficos con los valores hallados y analizar las curvas.

§ Tratar de preparar las clases, hacer síntesis (“después de Bohr volviendo a Planck, Einstein”), y procesar las calificaciones con mucho detenimiento pero **le falta tiempo** para hacer bien estas cuestiones (no le gusta que los estudiantes se vayan a examen o pierdan el año por Física).

§ Resaltar que los aspectos importantes de la Cuántica son conceptos y modelos (ej. el modelo “*h por f*” pues permite explicar cuestiones tan disímiles como el efecto fotoeléctrico y el lumínico de rayos X), que los temas más lindos para él son fisión y fusión, que los contenidos de FM son duros y a veces oscuros (ej. poder interpretar los datos que muestran los equipos experimentales de rayos X del CNBA).

§ Valorar las inquietudes y preguntas de sus alumnos (estableciendo relaciones con otros temas y materias), el rol de lo imprevisto y de no tener todas las respuestas (esto lo obliga a trabajar con más profundidad).

§ Considerar que la función del profesor de 6° año no es cumplimentar todos los contenidos (pues está “*explicando más a los que más les gusta, más saben y más van a volver a ver*” el tema), si en cambio, es ayudar a los estudiantes a evaluar los problemas en vez de darles la solución, trabajar más los aspectos formales o dar más espacio a los alumnos que son muy buenos.

*Respecto del trabajo institucional y el desarrollo profesional:*

§ Apreciar la buena organización departamental, la colaboración y amistad entre colegas.

§ Valorar el buen clima de trabajo en el CNBA (lo relaciona con la selección de ingresantes).

§ Necesitar sentirse perteneciente en los lugares de trabajo.

§ Tratar de poner un “valor agregado a la tarea de enseñar”<sup>89</sup> (ej. desarrollando nuevos TPL, arreglando los equipos existentes en el departamento de Física) y mostrar el malestar que le genera cuando no lo logra. (¿La actividad de enseñar es poco que requiere un valor agregado?)

§ Valorar más sus propias dificultades y cuestiones pendientes que sus capacidades (siempre está preocupado y siente deuda por “no ser físico”).

§ Mencionar que **quería ser farmacéutico pero la vida y la falta de dinero lo fueron llevando a la docencia y a ser un profesor taxi.**

### **Perfil del Profesor Hardoy**

El microanálisis de las clases y entrevistas referidas a la muestra y el macroanálisis de otras entrevistas relacionadas con la intervención de Hardoy permiten reconocer que este profesor se ocupa de:

*Con respecto a los elementos teórico-filosóficos y técnico-metodológicos:*

§ Señalar y resaltar la importancia que en el tema Cuántica tiene trabajar la naturaleza teórica o empírica de los términos implicados, su evolución y sus relaciones (“*el átomo es un modelo y por lo tanto no se ve*”).

---

<sup>89</sup> Interpreto que la desvalorización por lo que hace se relaciona con otras expectativas y cierta frustración vocacional.

§ Marcar la importancia de los aspectos característicos de la producción del conocimiento físico (cuál es el fenómeno empírico, los casos negativos, el rol de la conjetura en la creación científica).

§ Asignar importancia a los valores y principios éticos que deben guiar el trabajo científico conectándolos con un ejemplo de la vida cotidiana. (Intención de familiarizar).

§ Incentivar la formulación de preguntas inteligentes y limitar los ejercicios operacionales.

§ Promover la formulación de trabajos prácticos orientados más hacia la búsqueda de datos y la innovación que hacia el diseño experimental. (Intención de diversificar).

*Con respecto al tratamiento del contenido:*

§ Diseñar y coordinar sus clases combinando la lógica de la acción y la pedagógica.

§ Organizar el contenido del tema como una macroestructura de “problema – solución” (“*poder hacerse las preguntas es lo más difícil*”) y estableciendo similitudes lógicas entre el desarrollo de la ciencia y el de la enseñanza. (Intención de familiarizar).

§ Intervenir durante la exposición de los grupos para: a) profundizar la descripción de conceptos importantes utilizando el MG y el MC combinados, b) conectar el contenido cuántico con conocimientos académicos previos, c) resaltar las relaciones internas (R1) y externas R2. (Intención de aproximar y diversificar), c) diferenciar el modelo de la realidad que se pretende explicar, detectar las grandes ideas que están por detrás de las ecuaciones, observar la evolución de los modelos, poder establecer un ida y vuelta entre la teoría y la práctica.

*Con respecto a las prácticas cognitivas:*

§ Conectar a los estudiantes con la presentación conceptual de las grandes ideas y no con el detalle de las ecuaciones o la presentación formal, (énfasis en el MC sobre el MS).

§ Diseñar e implementar actividades extra clases para tratar de estimular: la variación y ampliación de contextos, las conexiones entre conocimientos nuevos y previos, las relaciones entre estudiantes y especialistas externos al colegio, la participación en comunidades y situaciones amplias y variadas (desarrollando relaciones externas o R2). (Intenciones de diversificar, aproximar, traspasar el control del conocimiento, negociar significados).

§ Utilizar recursos materiales como el retroproyector, transparencias y apuntes de disciplinas como Medicina para ejemplificar, variar situaciones y ejemplos y ampliar visual y conceptualmente los desarrollos en MS que plantean los expositores. (Intención de diversificar).

§ Buscar nuevas orientaciones en los modos de evaluar a los estudiantes como por ejemplo: a) usar la resolución de problemas como forma de colaboración entre pares, apreciar cómo son las preguntas que formulan, cómo inician la presentación de un tema o cómo conectan los conocimientos cuánticos con los previos. También el profesor se ocupa de evaluar sus propias intervenciones. Evalúa cómo los estudiantes se aproximan, se familiarizan, negocian significados, asumen el control del conocimiento, brindan y aceptan apoyos.

§ Desarrollar el método de exposiciones por parte de grupos de estudiantes con su intervención (método interactivo – productivo). La intención de usarlo es construir colaborativamente con los estudiantes los contenidos de Cuántica trabajando las ideas importantes, marcando las dificultades y sin centrarse en los ejercicios. Prefiere un método de trabajo que le permita aproximar, familiarizar, diversificar, negociar y traspasar colaborativamente el conocimiento.

*Respecto de las prácticas metacognitivas:*

§ Intervenir en las exposiciones para: resaltar las ideas que están por detrás de la deducción de una fórmula (ej. la idea de cuantificación), desarrollar aspectos distintos al manejo de deducciones y fórmulas (ej. alentar a los estudiantes a asumir el control del conocimiento), anticipar los obstáculos de los expositores y colaborar en la introducción correcta del nuevo conocimiento. (Función de aproximar y controlar el conocimiento, aproximar compartiendo el proceso de construcción, buscar la familiarización).

*Respecto a las acciones comunicativas:*

§ Formular preguntas que intentan: a) conectar los conocimientos previos (ej. de electrodinámica clásica) con los nuevos para introducir “como necesidad” la idea de cuantificación, b) conectar esquemas nuevos con previos (descripción de fuerzas y energía en el átomo con fuerzas y energía en el campo gravitatorio terrestre), c) ajustar significados. (Intención de aproximar, familiarizar, diversificar),

§ Utilizar el lenguaje ficcional (analogías entre esquemas), mostrar su propio proceso cognitivo, combinar simultáneamente tres modos de comunicar la información cuántica (MC, MS y MG) (Intención de diversificar).

§ Mediante las exposiciones grupales crear un clima de confianza, respeto y colaboración donde se pueda: expresar y trabajar las ideas previas, reordenar las secuencias de presentación del contenido por parte de los expositores, establecer vínculos entre elementos conocidos y nuevos, prestar apoyo positivo al expositor para que use el contenido en forma autónoma. (Tratar de lograr un clima colaborativo, respetuoso y de confianza).

§ Alentar diversos modos de participación de los estudiantes dentro y fuera de las clases y cuando esto no se logra buscar los motivos y encontrar los modos que mejor acerquen a los estudiantes (ej. Hardoy considera que la falta de participación de tres estudiantes puede asociarse con complejidad del tema y que él debiese haberlo facilitado ingresando a la Cuántica por los aspectos filosóficos).

El macroanálisis de otras entrevistas mantenidas con Hardoy permiten reconocer que este profesor también se interesa por:

*Respecto de la intervención didáctica:*

§ Conocer detalladamente los intereses de cada estudiante, respetarlos e incentivarlos.

§ Promover el despliegue de actividades para los 6° años y también para los otros cursos del departamento que se orienten a aproximar, familiarizar, diversificar los contenidos de Física (uso de dispositivos históricos, participación en conferencias, becas, Olimpíadas, etc.).

§ Criticar el uso excesivo de formalismos y de resolución de problemas “de lápiz y papel”.

§ Ofrecer ayudas extras a los estudiantes y alentar a que asuman el control del conocimiento.

§ Promover cambios en la función habitual del laboratorio de Física (debe servir más para motivar, buscar datos, innovar y alentar la autonomía que para probar diseños experimentales).

§ Dar importancia al juego y a la intuición para iniciarse en la física (currículo espiralado que vaya de lo concreto a lo formal).

§ Justificar el uso de la estrategia grupal en 6° año cuando hay que desarrollar muchos contenidos



en poco tiempo y existen ciertas condiciones adecuadas como: la presencia de estudiantes que pueden elegir el tema, la forma de presentación y no especular con la nota; un clima distendido con buena circulación de preguntas; su seguridad de que los puntos nodales quedarán cerrados y que el debe contar siempre con recursos alternativos para sostener el desarrollo de la clase en caso de necesidad; conciencia de que los contenidos no deben ser totalmente nuevos y que los grupos deben saber muy bien lo que presentan para enfatizar lo importante.

§ Resaltar que las condiciones del profesor para lograr una coordinación adecuada del trabajo en grupos son: dominio y flexibilidad conceptual, capacidad y creatividad metodológica, saber controlar distribución de temas y de la bibliografía, conciencia de su poder como docente.

§ Saber autoevaluar el manejo de su clase rescatando: los metamensajes que envía a los alumnos (les dice que deben cuidar todos los detalles porque a él “le importa todo” y cada uno), los modos de hacer las intervenciones (conseguir el momento adecuado para marcar a los estudiantes sus fortalezas, confusiones y carencias sin invadirlos).

§ Lo importante de esta clase está en diferenciar el modelo de la realidad que se pretende explicar, § detectar las grandes ideas que están por detrás de las ecuaciones, § observar la evolución de los modelos, § poder establecer un ida y vuelta entre la teoría y la práctica.

§ Interés del profesor por conocer la responsabilidad de los alumnos frente a lo que escriben (en la Encuesta de Opinión).

*Respecto de los aspectos institucionales y del desarrollo profesional:*

§ Buscar alternativas a los malos dispositivos institucionalizados como a la evaluación tradicional que existe en el CNBA (tratar de encontrar formas de evaluar más acordes con el trabajo científico y con los chicos del colegio).

§ Alentar modos de trabajo compartido entre colegas (ej. hacer cambios curriculares compartidos), estudiantes y ayudantes (ej. Museo Didáctico de Física) y padres.

§ Mostrar su elección temprana por la docencia a la que considera como un arte, ligada con la creación, la construcción continua y sacrificada y con riesgo de terminar haciendo siempre lo mismo, aunque puede resultar muy vigorizante si hay enganche con los estudiantes.

§ Criticar la formación docente (el sistema forma al docente como un pintor de brocha gorda porque forma a todos de la misma manera).

§ Orientar creativamente la educación científica en el Departamento de Física del CNBA porque la Física en la escuela debe ser amigable y desarrollar espíritu crítico.

§ Reconocer la formación propedéutica del CNBA (la mirada institucional está puesta en la calidad de los egresados como ciudadanos y la universidad es la que monitorea esa calidad).

§ Registrar las dificultades de algunos colegas que las vincula con representaciones erróneas sobre el rol de profesor, por sostener creencias tecnicistas, o por desconocer cuándo y por qué se falla y las normas administrativas.

§ Presentar creatividad para gestionar los contenidos de sexto y conciencia de su poder como docente (preocupación por seducir a los que no les gusta la Física).

§ Manifestar interés por analizar cuestiones de su desarrollo profesional docente y por colaborar con este estudio, deseos de hacer ajustes relacionados con los resultados.

### **A modo de cierre del análisis**

Consideramos que la amplitud de las tareas desarrolladas por los dos profesores en las clases de Cuántica de los dos sextos años con orientación en Ciencias Exactas del CNBA y también en las actividades extraclase ha enfatizado fundamentalmente acciones instrumentales y comunicativas orientadas a:

- ✚ Respetar los intereses y características de los estudiantes de 6° año.
- ✚ Desarrollar conexiones entre conocimientos académicos cuánticos y previos.
- ✚ Favorecer la vinculación entre esquemas nuevos y esquemas conocidos recurriendo a diversos referentes experimentales y técnicos.
- ✚ Abordar situaciones ampliando contextos (de intra a extraescolares).
- ✚ Desplegar los contenidos cuánticos mediante macroestructuras de causación, problema-solución y comparación.

- ✚ Utilizar simultáneamente múltiples formas comunicacionales, realistas y ficticias, dando prevalencia a los modos conceptuales y gráficos.
- ✚ Gestionar variedad de relaciones teóricas, empíricas, curriculares, de tipo internas (R1) y externas (R2), según el avance logrado en los distintos momentos de la enseñanza.
- ✚ Expandir y diversificar las fuentes, modos y canales informativos, los soportes cognitivos, metacognitivos y emocionales.
- ✚ Relativizar la resolución de problemas de lápiz y papel y de ejercicios de aplicación dando prevalencia a la identificación de los problemas y preguntas científicas.
- ✚ Generar climas de trabajo colaborativo, respetuoso y de confianza mutua.
- ✚ Criticar los modos tradicionales de evaluar tratando de complementarlos con el uso de indicadores cualitativos más acordes a los estudiantes del CNBA (modos de de preguntar, grado de participación en actividades, etc.)

El análisis de los motivos y aspectos por los cuales los estudiantes seleccionaron el Efecto Fotoeléctrico y el Átomo de Bohr como los temas más comprendidos permiten rescatar que ellos también valorizan algunos aspectos que han caracterizado a dichas clases porque les ha facilitado:

- ✓ Construir conexiones entre conocimientos académicos nuevos y previos.
- ✓ Vincular conocimientos nuevos con esquemas conocidos.
- ✓ Negociar los propios significados con los compañeros.
- ✓ Establecer diversas relaciones con el contenido, internas y externas.
- ✓ Apropiarse de nuevos modos para controlar el conocimiento.
- ✓ Profundizar temas de interés personal.

Consideramos que las intervenciones didácticas analizadas fueron instrumentadas por dos profesores expertos; comprometidos con la buena enseñanza de la Física y la mejora de la institución donde trabajan; preocupados y sensibles con los intereses, dificultades y avances de sus estudiantes; con vocaciones, estilos didácticos, dificultades y funciones profesionales diferenciadas; que desarrollan sus clases con métodos y lógicas diferentes pero que en ambos casos se orientan a desarrollar ampliamente los conocimientos científicos de sus estudiantes.

Respecto de las dificultades presentadas por uno de los profesores y expresadas como “falta de tiempo” las hemos vinculado con aspectos latentes o inconscientes del desarrollo profesional que pueden referirse a desajustes entre las expectativas vocacionales y del trabajo escolar de modo tal que aparece un exceso de autocontrol, de crítica, de desvalorización por el propio desempeño (dice necesitar poner un “valor agregado” a la tarea de enseñar) y un desentendimiento/ negación de las pautas administrativas de la institución (Blanchard Laville, 1996).

En el capítulo V retomaremos estas intervenciones didácticas considerándolas desde una perspectiva didáctica general e interpretaremos los procesos analizados desde las ideas sobre comprensión didáctica y humana, el desarrollo profesional y las características de la institución que remiten a considerar nuevos indicadores para el logro de clases comprensivas de cuántica en un colegio secundario.



The logo of the University of San Andrés is centered in the background. It features a shield with a white saltire (X-shape) on a grey background, flanked by two thistles. Below the shield is a banner with the university's name.

**CAPÍTULO V**

**CONSIDERACIONES SOBRE LAS CLASES COMPRENSIVAS  
DE CUÁNTICA EN EL NIVEL ESCOLAR MEDIO**

Universidad de  
**San Andrés**

En este capítulo presentamos una revisión general de los resultados, su interpretación y las conclusiones referidas a las clases comprensivas de Cuántica en el CNBA.

A lo largo de este trabajo hemos intentado describir y logramos analizar la **introducción del conocimiento cuántico** en las clases de 6° año del CNBA desde la perspectiva del desarrollo de procesos comprensivos considerando dos aspectos característicos de la enseñanza de la Física, cuestiones teórico – filosóficas y técnico-experimentales, que permiten reconocer cómo dos profesores introducen la naturaleza de los objetos enseñados en términos empíricos y términos teóricos (elementos ontológicos); cómo presentan aspectos metodológicos de la producción y de la enseñanza del conocimiento físico (elementos epistemológicos); cómo pautan valores y principios éticos que sostienen la labor científica y su enseñanza (elementos axiológicos); cómo despliegan y reflexionan sobre las distintas funciones de los trabajos prácticos de laboratorio y de otros dispositivos didácticos (problemas de “lápiz y papel”, ejercicios de cálculo dimensional, etc).

Hemos definido categorías para el **análisis de la intervención didáctica** o de las acciones instrumentales, en términos de Habermas (1988, 2010), desplegadas por dos profesores y foco de este trabajo, considerando detenidamente:

***A - El tratamiento del contenido cuántico en términos de:***

- Los modos generales de argumentación, es decir rescatando las formas lógicas implícitas que éste asume (lógica de la acción, centrada en relaciones de causalidad e implicación temporal; lógica pedagógica, centrada en un plan de enseñanza y aprendizaje, o lógica universitaria, centrada en la formalización simbólica); y también los modos de estructuración del contenido rescatando, sobre todo, aquellas macroestructuras orientadas a la comprensión como las de problema – solución, causación y comparación (Rivière, 1996).

- La organización del contenido mediante cinco formas de tratamiento específico de los conceptos cuánticos que caracterizamos como descripción, explicación, comparación, repetición, recapitulación.
- Dos tipos de relaciones en el tratamiento del contenido cuántico que denominamos relación interna (R1) basada en la justificación y la evolución histórica de los conceptos y relación externa (R2) referida a los procesos de creación y de aplicación del contenido cuántico en otros contextos y disciplinas.

***B - Las prácticas cognitivas o tareas didácticas habituales de los profesores en términos de:***

- Los *propósitos*, o intenciones y fines del profesor, tratando de rescatar aquellos orientados a aproximar, familiarizar, diversificar, negociar significados y traspasar el control del conocimiento cuántico generando apoyos positivos o andamiajes para los estudiantes.
- Las *actividades* o tareas pensadas e implementadas dentro y fuera de las clases y del colegio.
- Las diferentes formas de usar los *recursos* materiales como es el caso de las lecturas complementarias y de las transparencias.
- La *evaluación* observando su utilización, ya sea como control (con pautas formales o alternativas) o como recurso para la comprensión (diversificando soportes), y también, los conflictos que este proceso genera y la búsqueda de opciones por parte de los docentes.
- Los *métodos* o modos generales de conducir la clase, sean éstos de tipo expositivo-suscitador o interactivo-productivo e intervencionista.

***C - Las prácticas metacognitivas de los profesores desde:***

- Las situaciones y metamensajes que alientan a los estudiantes a reflexionar “por detrás” de los desarrollos empíricos y de los procesos algorítmicos.
- Las formas por las cuales los profesores operacionalizan sus supuestos sobre las dificultades conceptuales y procedimentales de los estudiantes.

Hemos caracterizado la **construcción social del conocimiento** o acciones comunicativas desplegadas por los profesores y estudiantes a través de:

- La narración de sus *propios procesos cognitivos* frente a cuestiones complejas.
- Los diferentes *tipos de preguntas* que se formulan los participantes, particularmente las de tipo aproximativas, familiarizadoras, diversificadoras y aclaratorias (o con funciones orientadas hacia la comprensión).
- Las múltiples y combinadas formas de utilización del *lenguaje* sean éstas formas realistas (**MC:** modo conceptual o extenso, **MS:** modo simbólico o con ecuaciones, y **MG:** modo gráfico mediante variedad de esquemas -gráficos, cartesianos y de modelo-); o sean formas ficcionales (metafóricas, analógicas y conjeturales).
- La creación e implementación de *climas*, o conjuntos discursivos y gestuales amplios orientados a la comprensión, es decir, ambientes de trabajo que buscan aproximar, familiarizar, diversificar, negociar significados y traspasar el control del conocimiento cuántico brindando estímulo y apoyo a los estudiantes, y alentando su participación. También considerando algunas resistencias que pueden aludir a dificultades de comprensión y a los modos que los profesores han especulado como para poder superarlas.
- Analizar “la vida” en el departamento de física del CNBA en términos de contexto histórico y socio - institucional de las clases para poder vislumbrar cómo los intereses (más epistemológicos que ontológicos), la combinación adecuada de dos tipos de racionalidad (escolar y científica) y de formas de comunicación proveen de una amplia significación personal (connotativa o subjetiva) y científica (denotativa o comunal) a las acciones didácticas y al desarrollo profesional de los profesores. (Toulmin, 1977; Habermas, 1988, 2010; Moreira, 2000).

El *propósito general* de estudiar la comprensión de la Cuántica en dos sextos años con orientación en Ciencias Exactas del CNBA ha sido posible pues pudimos analizar la intervención didáctica deteniéndonos en los motivos por los cuáles los propios participantes (profesores, y estudiantes) eligen dichas clases como comprensivas y porque nuestra mirada estuvo guiada por las argumentaciones teóricas de la didáctica, la psicología y la filosofía, por un lado, y también por una predisposición a reflexionar simultáneamente cuestiones del desarrollo profesional de los profesores (como la interpretación del disfuncionamiento en el manejo del tiempo por parte de uno de los profesores no como una dificultad técnica sino como exteriorización de fenómenos



latentes, Blanchard Laville, 1996), y del contexto institucional y organizacional de la enseñanza de la Física en el CNBA (Schvarstein, 1991) .

Una reinterpretación de los resultados elaborados en el capítulo IV nos permite aseverar que cuando las acciones instrumentales y comunicativas de los profesores se orientan a:

- ✚ Respetar los intereses y características de los estudiantes de 6° año.
- ✚ Desarrollar conexiones entre conocimientos académicos cuánticos y previos.
- ✚ Favorecer la vinculación entre esquemas nuevos y esquemas conocidos recurriendo a diversos referentes experimentales y técnicos.
- ✚ Abordar situaciones ampliando contextos (de intra a extraescolares).
- ✚ Desplegar los contenidos cuánticos organizados mediante macroestructuras de problema-solución, causación, y comparación.
- ✚ Utilizar simultáneamente múltiples formas comunicacionales, realistas y ficcionales, dando prevalencia a los modos conceptuales y gráficos.
- ✚ Gestionar variedad de relaciones teóricas, empíricas, curriculares, de tipo internas (R1) y externas (R2), según el avance logrado en los distintos momentos de la enseñanza.
- ✚ Expandir y diversificar las fuentes, modos y canales informativos, los soportes cognitivos, metacognitivos y emocionales.
- ✚ Relativizar la resolución de problemas de lápiz y papel y de ejercicios de aplicación dando prevalencia a la identificación de la naturaleza de los elementos, procesos, problemas y preguntas científicas.
- ✚ Generar climas de trabajo colaborativo, respetuoso y de confianza mutua.
- ✚ Criticar los modos tradicionales de evaluar tratando de complementarlos con el uso de indicadores cualitativos más acordes a los estudiantes del CNBA (modos de preguntar, grado de participación en actividades, etc.)

Es posible inferir que la actividad de los profesores observados no responde a ciertas descripciones que se hacen de los profesores de ciencias – centradas en enfatizar las carencias del

rol en vez de apreciar la complejidad y riqueza de su trabajo en el aula-, (Porlán y Martín del Pozo (2002)<sup>90</sup>. También, que la intervención didáctica analizada está más orientada a generar **comprensión** de la Cuántica que a desarrollar otros niveles de aprendizaje, ya sea significativo o elaborativo. (Hernández Hernández, 1997).

Asimismo, cuando los estudiantes seleccionan el Efecto Fotoeléctrico y el Átomo de Bohr como los temas más comprendidos y valorizan dichas clases porque les ha facilitado:

- ✓ Construir conexiones entre conocimientos académicos nuevos y previos.
- ✓ Vincular conocimientos nuevos con esquemas conocidos.
- ✓ Negociar los propios significados con los compañeros.
- ✓ Establecer diversas relaciones con el contenido, internas y externas.
- ✓ Apropiarse de nuevos modos para controlar el conocimiento.
- ✓ Profundizar temas de interés personal.

También ellos están reconociendo lo que necesitan para poder comprender temas de Cuántica y que nosotros consideramos coincidente con los importantes planteos didácticos de Pinto y Zanetic (1999) y de Barbosa y Pacca (2007) presentados en el capítulo II. Asimismo, los motivos de la elección de los estudiantes son acordes con las ideas generales de comprensión de la ciencia planteadas por filósofos, psicólogos y didactas referidas a la necesidad de desplegar la enseñanza escolar de la ciencia enfatizando los modos conceptuales por sobre los formales y algorítmicos, generando amplias relaciones externas y contextuales, y promoviendo entornos institucionales respetuosos y ricos que favorezcan el aprendizaje social de la ciencia o la enculturación, como expusimos en el capítulo III.

---

<sup>90</sup> Los autores señalan que: 1) los profesores tienen una visión tácita y absolutista del conocimiento, 2) la enseñanza es considerada como un proceso de transmisión directa de los contenidos, 3) el aprendizaje es el resultado de un proceso mecánico de incorporación en la mente de dichos contenidos, 4) la formación inicial superpone creencias interiorizadas con un conocimiento disciplinar academicista, fragmentado y descontextualizado. 5) estas visiones están en contradicción con los avances de la nueva filosofía y epistemología de las disciplinas, de la psicología del aprendizaje y de la investigación en didácticas específicas.

Asimismo, al reconsiderar el análisis de las intervenciones didácticas instrumentadas por dos profesores expertos - comprometidos con la buena enseñanza de la Física y la mejora de la institución donde trabajan; preocupados y sensibles con los intereses, dificultades y avances de sus estudiantes; con vocaciones, estilos, dificultades y funciones profesionales diferenciadas, que desarrollan sus clases con métodos y lógicas diferentes pero que en ambos casos se orientan a desarrollar ampliamente los conocimientos científicos de sus estudiantes – podemos interpretar que el logro de la comprensión de la Cuántica en el CNBA se ve facilitada por:

- I) La presencia de buenos profesores y ayudantes (expertos, creativos y comprometidos con la educación en física, que valoran la pertenencia al colegio, con conciencia de su formación y desarrollo profesional, preocupados por los cambios metodológicos y curriculares, dispuestos a la reflexión sobre sus prácticas).
- II) La presencia de estudiantes seleccionados como para adecuarse a una formación propedéutica y ciudadana estricta basada en sus intereses, responsabilidades, participación, y compromiso con asumir el propio control del conocimiento.
- III) El desarrollo de clases, laboratorios (abiertos y bien equipados) y de actividades fuera del aula (Museo Didáctico de Física, Olimpíadas, conferencias) sustentadas en un organización pedagógica controlada donde los contenidos físicos van circulando espiraladamente de lo concreto a lo abstracto, con intensidad y formalización creciente de 2° a 6° año de la escolaridad.

Hemos tenido la posibilidad de estudiar la intervención didáctica en las clases de física de un colegio donde la *comprensión de la cuántica* parece ser una de las metas implícitas de los profesores observados. Nosotros, generalizando, interpretamos que la comprensión requiere analizarse mediante las siguientes dimensiones y descriptores principales:

- ✚ Dimensión cognitiva → Descriptores: aproximar, familiarizar, diversificar (usar relaciones R1 y R2), traspasar el control.
- ✚ Dimensión psicolingüística → Descriptores: macroestructura del texto (de problema-solución, comparación o causación), multiplicidad de lenguajes realistas y ficcionales.

- ✚ Dimensión social → Descriptores: clima (del aula, departamento e institución); negociación de significados; pertenencia, conocimiento y desarrollo profesional del docente.

Concluimos que enseñar comprensivamente física en la escuela secundaria requiere que el conocimiento pedagógico de contenidos cuánticos esté planeado, implementado y valorado mediante una intervención didáctica orientada a:

- ✚ Conocer, respetar y estimular los intereses de estudiantes. Las carencias en estos aspectos pueden bloquear la participación.
- ✚ Estimular la pertenencia y seguridad de los profesores. El sentimiento de inseguridad tensiona las lógicas de intervención e interfiere en la capacidad de brindar andamiaje.
- ✚ Utilizar variedad de métodos (expositivos, interactivos) que balanceen elementos logocéntricos y psicocéntricos.
- ✚ Aproximar (desarrollar conexiones) entre conocimientos académicos (cuánticos y previos).
- ✚ Familiarizar o reiterar esquemas empíricos y teóricos recurriendo a referentes experimentales y técnicos.
- ✚ Diversificar o variar ejemplos, contextos, situaciones, relaciones curriculares (tipo R1 y R2) y canales comunicacionales en función del avance o la dificultad en la enseñanza.
- ✚ Desplegar los contenidos cuánticos mediante macroestructuras de problema-solución, causación y comparación.
- ✚ Utilizar simultáneamente múltiples formas comunicacionales, realistas y ficcionales, dando prevalencia al modo conceptual y el gráfico sobre el modo simbólico o algorítmico.
- ✚ Expandir y diversificar los soportes cognitivos, metacognitivos y afectivos.
- ✚ Dar prevalencia a la lógica pedagógica sobre la lógica de la acción o la lógica universitaria.
- ✚ Relativizar las actividades de resolución de problemas de lápiz y papel y de ejercicios de aplicación.
- ✚ Jerarquizar los procesos de identificación de la naturaleza de los objetos cuánticos, de conjeturación, de problematización científicas y de anticipación de obstáculos conceptuales.

- ✚ Generar climas de trabajo colaborativo (traspaso del control), de confianza, respeto y apoyo emocional (andamiaje).
- ✚ Evaluar mediante indicadores cualitativos y acordes con el tipo de estudiantes (ej. modos de preguntar de los estudiantes, grado y calidad de su participación en actividades).

Cumplidos los propósitos originales de la investigación nos permitimos afirmar que enseñar para la comprensión en la escuela media es poder desarrollar un proceso de integración tanto en los profesores como en los estudiantes y que en el caso de la enseñanza de física cuántica dicho proceso se apoya en un elemento individual -el desarrollo de la conciencia, el intelecto y la afectividad- y en un elemento social referido a los procesos de enculturación o aprendizaje social en la institución escolar.

Así, en el marco de una práctica de enseñanza constructivista *“la comprensión es la aprehensión subjetiva del significado [y los] dos factores que facilitan o dificultan dicha aprehensión son, uno de índole subjetiva y emocional, que remite al sentido de lo que se aprende y a los motivos personales, y el otro, de carácter lógico, a la presentación de los contenidos estructurados con la conveniente claridad y orden”*. (Luque Lozano et al., 1997: 324).

Universidad de  
San Andrés

**De todo quedaron tres cosas**

*“De todo quedaron tres cosas:  
La certeza de que estaba siempre comenzando,  
la certeza de que había que seguir  
y la certeza de que sería interrumpido antes de terminar.  
Hacer de la interrupción un camino nuevo,  
hacer de la caída un paso de danza,  
del miedo una escalera, del sueño un puente,  
de la búsqueda un encuentro”.*

*Fernando Pessoa*



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS<sup>91</sup>

Universidad de  
**San Andrés**

---

<sup>91</sup> La presente Bibliografía ha sido elaborada siguiendo las pautas establecidas en la Guía N° 7 de la Biblioteca Max von Buch – UdeSA, según uno de los formatos de citas del Chicago Manual of Style. En el caso de Tesis, al no haber especificaciones en la Guía precitada, se siguieron las Normas de Citación disponibles en [www.scribd.com/doc/2052091/Bibliografía-y-normas-de-citación](http://www.scribd.com/doc/2052091/Bibliografía-y-normas-de-citación)

- Aguiar, O. Jr. y E. Mortimer. 2005. Tomada de conciencia de conflictos: análise da atividade discursiva em uma aula de ciencias. *Investigación en Enseñanza de las Ciencias* V(10): 2.
- Almeida Cavalcante, M. y C.R. Tavolaro. 2001. Uma oficina de Física Moderna que vise a sua inserção no ensino medio. *Caderno Catarinense de Ensino de Fisica* 18 (3): 298-316.
- Alonso, M. Y Finn, E. 1986. *Física. Volumen III*. México: Addison-Wesley Iberoamericana.
- Alves, A. J. 1991. O Planejamento de Pesquisas Qualitativas em Educacao. *Caderno de Pesquisas Qualitativas em Educação*. (77): 53-61.
- Andrade Oliveira, R. y M. Pietrocola. “Análise do sucesso das estratégias e recursos didáticos utilizados em uma proposta curricular de física moderna e contemporânea para o ensino médio.” Encontro Nacional de Ensino de Ciências. Anais V ENPEC. Bauru, 2005.
- André, M. “Contribuição do Estudo de Caso Etnográfico para a Reconstrução da Didática.” Tese de Livre Docencia. Cap. I: A Abordagem Qualitativa de Pesquisa, 1992. (pre - print)
- Arriasecq, I. y Greca, E. 2004. Enseñanza de la teoría de la relatividad especial en el ciclo Polimodal, dificultades manifestadas por los docentes y textos de uso habitual. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*. 3 (2) [www.saum.uvigo.es/reec/Volumenes.htm](http://www.saum.uvigo.es/reec/Volumenes.htm) (Consultado 18/04/07)
- Arruda, S. 1993. Metáforas na Física. *Caderno Catarinense de Ensino de Fisica* 10 (1): 25-37.
- Astolfi, J.P. 1997. *Aprender en la Escuela*. Santiago: Dolmen Ediciones.
- Astolfi, J.P. 1999. *El “error” un medio para enseñar*. Sevilla: Díada Editora.
- Astolfi, J.P. 2001. *Conceptos clave en la didáctica de las disciplinas*. Sevilla: Díada Editora.
- Au, K. 1992. Una maestra cambia su punto de vista sobre la enseñanza interactiva de la comprensión. En *Vygotsky y la Educación*. L. Moll, comp. Buenos Aires: Aique.
- Bachelard, G. 1975. *La actividad racionalista de la Física contemporánea*. Buenos Aires: Siglo Veinte.
- Bachelard, G. 1985. *La formación del espíritu científico*. México: Siglo Veintiuno.
- Barbosa, U. y Pacca, J. 2007. A Mecanica Quantica no Ensino Médio: Como ser construcionista. XVII Simposio de Ensino de Fisica. Sao Luis. Maranhao. Consultado 12/12/2010)  
<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/sys/resumos/T0478-1.pdf>
- Bateson, G. 1992. *Pasos hacia una ecología de la mente*. México: Carlos Lohle.
- Bateson, G. 1993. *Espíritu y naturaleza*. Buenos Aires: Amorrortu.
- Bateson, G. et al. 1994. *La nueva comunicación*. Barcelona: Kairós.
- Bautista, G. 1998. “Reflexiones sobre el Tratado de Dirac.” V CLAHCT, Río de Janeiro, julio 1998. (Pre-Print)
- Belinchón, M., A. Rivière y J. Igoa. 1996. *Psicología del lenguaje: Investigación y teoría*. Madrid: Trotta.

- Benarroch, A. 2000. Del modelo cinético-corpúscular a los modelos atómicos. Reflexiones didácticas. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales* 23: 95-108.
- Benarroch, A. 2001. Una interpretación del desarrollo cognoscitivo de los estudiantes en el área de la naturaleza corpúscular de la materia. *Enseñanza de las Ciencias* 19 (1): 123-134.
- Black, M. 1966. *Modelos y metáforas*. Madrid: Tecnos.
- Blackwood, O., T. Osgood, H. Ruark, E. Hutchissojn, G. Scott, W. Peter y A. Eworthing. 1963. *Física Atómica General*. Buenos Aires: EUDEBA.
- Blanchard Laville, C. 1996. *Saber y relación pedagógica*. Buenos Aires: Ediciones Novedades Educativas y UBA.
- Bohr, N. 1913 a. *On the Constitution of Atoms and Molecules. Part II.- Systems Containing only a Single Nucleus*. Part I & II, *Phil. Mag.* XXVI : 1, 476-502 y 857-874.
- Bolívar, A. 2002. ¿De nobis ipsis silemus?: Epistemología de la investigación biográfico-narrativa en educación. *Revista Electrónica de Investigación Educativa* 4 (1). <http://www.redie.uabc.mx/vol4no1/contenido-bolivar.html> (Consultado: 23/ 02/ 07)
- Bolívar Botía, A., M. Fernández Cruz y Molina Ruiz. 2004. Investigar la identidad profesional del profesorado: una triangulación secuencial. *Forum: Qualitative Social Research*. <http://217.160.35.246/fqs-texte/1-05/05-1-12-s.pdf> (Consultado: 03/ 03/ 07)
- Bolívar, A y J. Domingo. 2006. La investigación biográfica y narrativa en Iberoamérica: campos de desarrollo y estado actual. *Forum qualitative sozialforschung/ forum: qualitative social research [on- line journal]* 7(4), art. 12. <http://www.qualitative-research.net/fqs-texte/4-06/06-4-12-s.htm> (Consultado: 15/ 02/ 07)
- Brockington, G. y M. Pietrocola. “O ensino de física moderna na escola média: Os modelos e o realismo científico na sala de aula”. V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências. Atas do V ENPEC. 2005
- Brockington, G. y M. Pietrocola. “Serão as regras da transposição didática aplicáveis aos conceitos de física moderna?” IX Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física. 2006.
- Brown, H. 1984. *La nueva filosofía de las Ciencias*. Madrid: Tecnos.
- Bruner, J. 1988. *Desarrollo cognitivo y educación*. Madrid: Morata.
- Bruner, J. 2001. *Realidad mental y mundos posibles*. Barcelona: Gedisa.
- Blythe, T. 1999. *La Enseñanza para la Comprensión*. Buenos Aires: Paidós.
- Camilloni, A. W. de, M. C. Davini, G. Edelstein, E. Litwin, M. Souto y S. Barco. 1996. *Corrientes didácticas contemporáneas*. Buenos Aires: Paidós.
- Camilloni, A., E. Cols, L. Basabe y S. Feeney. 2008. *El saber didáctico*. Buenos Aires: Paidós.



- Canals Frau, D. 1993. Acerca del fotón. *Revista de Enseñanza de la Física* 6 (2): 8 a 18.
- Cañal, P. 1987. Un enfoque curricular basado en la investigación. *Investigación en la escuela* 1: 43-50.
- Capuano, V., G. Dima, L. Botta, I. Follari, A. B. De La Fuente, M. Perrotta y E. Gutiérrez. 2007. Una experiencia de aula para la enseñanza del concepto de modelo atómico en 8.º EGB. *Revista Iberoamericana de Educación* 44(2).
- <http://www.rieoei.org/presentar.php> (Consultado: 10 / 10 / 07)
- Carretero, M. 1997. *Introducción a la psicología cognitiva*. Buenos Aires: Aique.
- Castiglioni, R., O. Perazzo y A. Rela. 1983. *Física 2*. Buenos Aires: Troquel.
- Cazden, C. B. 1991. *El discurso en el aula: el lenguaje de la enseñanza y del aprendizaje*. Barcelona: Paidós - M.E.C.
- Chevallard, Y. 1997. *La transposición didáctica*. Buenos Aires: Aique.
- Cea D'ancona, M. 1999. *Metodología Cuantitativa. Estrategias y técnicas de investigación social*. Madrid: Síntesis.
- Cook, T. D. y CH. S., Reichardt. 1995. *Métodos cualitativos y cuantitativos en investigación evaluativa*. Madrid: Morata.
- Cortés Plá .1949. *El enigma de la luz*. Buenos Aires: Guillermo Kraft.
- Constantino, G. D., comp. 2002. *Investigación cualitativa & análisis del discurso en educación. Perspectivas teóricas y estrategias metodológicas*. Publicación del seminario de Postgrado "Investigación cualitativa y Análisis del Discurso en Educación. Perspectivas teóricas y estrategias metodológicas" U.N.Ca. (Pre-Print).
- Cuadrado Esclapez, G. y H. Berge Legrand. 2007. Aportaciones al estudio de la metáfora en la física cuántica a partir de textos en inglés y en español. *Ibérica* 13: 85-108. <http://www.aelfe.org/documents/05%20cuadrado.pdf> (Consultado 15/05/06)
- Cuppari, A., G.Rinaudo, O. Robutti y P. Violino. 1997. Gradual introduction of some aspects of quantum mechanics in a high school curriculum. *Physics Education*. 32 (5): 302-308.
- Custodio Pinto, A. y J. Zanetic. 1999. E possível levar a Física Quântica para o ensino médio? *Caderno Catarinense de Ensino de Física* 16 (1): 7-34.
- Custódio, J. F., M. Pietrocola, y F. Cruz. "Conflitos, curiosidade exploração: padrões afetivos no processo de mudança conceitual." XVI Simposio Nacional de Ensino de Física, Rio de Janeiro, 2005: 01 -05.
- Darwin, Ch. 1992. *El origen de las Especies*. Barcelona: Planeta.
- Davidson, M. W. 2005. The Rutherford Experiment. Florida State University. <http://micro.magnet.fsu.edu/electromag/java/rutherford/index.html> (Consultado 26/ 06/ 05).

- Davini, M. 1996. Conflictos en la evolución de la didáctica. La demarcación entre la didáctica general y las didácticas especiales. En *Corrientes Didácticas Contemporáneas*. Buenos Aires: Paidós.
- De Broglie, L. 1939. *Materia y Luz*. Buenos Aires: Espasa Calpe Argentina.
- Delizoicov, D. “Conhecimento, tensoes e transiçoes.” Tesis de doctorado. Universidade de San Pablo, 1991.
- Delizoicov, D. y J. A. Angotti. 1994. *Metodología de Ensino de Ciências*. San Pablo: Cortés.
- Denis, M. 1984. *Las imágenes mentales*. Madrid: Siglo Veintiuno de España.
- Dima, G., L. Botta, E. Gutierrez, V. Capuano, B. Follari, A. De La Fuente y M. Perrotta. 2004. “Conocimiento de las concepciones sobre estructura atómica de estudiantes en varios niveles educativos.” En *Memorias SIEF 7*: 19 – 29.
- Dirac, P.A.M. 1930. *The Principles of Quantum Mechanics*. London: Oxford University Press.
- Drive, R. et al. 1989. *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: Morata.
- Eco, U. 1995. *Semiótica y Filosofía del Lenguaje*. Cap. III. Barcelona: Lumen.
- Edwards, D. y N. Mercer. 1988. *El conocimiento compartido. El desarrollo de la comprensión en el aula*. Barcelona: Paidós /MEC.
- Einstein, A. 1905. On a Heuristic View Point about the Creation and Conversion of Light. En: *Annalen der Physik* 17(132): 91-107.
- Einstein, A. e Infeld, L. 1980. *La física, aventura del pensamiento*. Buenos Aires: Losada.
- Einstein, A. 1984. *Notas autobiográficas*. Buenos Aires: Alianza Bolsillo.
- Erickson, F. 1989. Métodos Cualitativos de Investigación sobre la Enseñanza. En *La investigación en enseñanza II: Métodos cualitativos y de observación*. Wittrock, comp. Barcelona: Paidós.
- Español, S. 2001. Un modo particular de concebir el símbolo y la ficción. En *La mente Reconsiderada. Homenaje a Ángel Rivière*. Santiago de Chile: Psykhe.
- Farmelo, G. 1992. Teaching particle physics in the open university's science foundation course. *Physics Education* 27 (2): 96-101.
- Fermi Laboratory. 1987. “Belleza y Encanto en el Fermilab. Material del curso para profesores de Nivel Medio.” Reunión de Educación en Física. REF Mar del Plata.
- Fernández, I., D. Gil, A. Vilches, P. Valdés, A. Cachapuz, J. Praia y J. Salinas. 2003. El olvido de la tecnología como refuerzo de las visiones deformadas de la ciencia. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* 2 (3).
- [www.saum.uvigo.es/reec/Volumenes.htm](http://www.saum.uvigo.es/reec/Volumenes.htm) (Consultado 18/04/07)
- Fernández, L.1993. *Instituciones educativas. Dinámicas institucionales en situaciones críticas*. Buenos Aires: Paidós.

- Fernández, P., E. González y J. Solbes. 2005. De los corpúsculos de luz al efecto fotoeléctrico. Una propuesta didáctica con base en la discusión de modelos. *Revista de Enseñanza de la Física* 18 (1).
- Ferrater Mora, A. 2004. *Diccionario de Filosofía*. Madrid: Alianza.
- Ferreira, H. A., G. C. Peretti, E. A. Carandino, M. J. Eberle, D. M. Provincial, R. E. Rimondino y A. M. Salgueiro. 2006. Educación media en Argentina: ¿el problema de los problemas...? *Revista Iberoamericana de Educación*. OEI 39(4),  
<http://www.rieoei.org/presentar.php> (Consultado: 25/4/07)
- Feynman, R. P. y R. B. Leighton. 1987. *Física. Volumen III. Mecánica Cuántica*. México: Addison-Wesley Iberoamericana.
- Fischler, H. y M. Lichtfeldt. 1992. Modern Physics and student's conceptions. *International al of Science Education* 14 (2): 181-190.
- Freire, P., M. Gadotti, S. Guimaraes e I. Hernández. 1987. *Pedagogía, Diálogo y Conflicto*. Buenos Aires: Ediciones Cinco.
- Fuente, A. De La, M. Perrotta, G. Dima, E. Gutiérrez, V. Capuano y B. Follari. 2003. Estructura atómica: análisis y estudio de las ideas de los estudiantes (8° DE EGB). *Revista Enseñanza de las Ciencias* 21(1): 123-134
- Fuentes para la Transformación Curricular. Ciencias Naturales. 1996. Ministerio de Cultura y Educación.
- Furió, C., D. Gil, A. M. Pessoa de Carvalho y L.E. Salcedo. 1992. La formación inicial del profesorado de Educación Secundaria: papel de las didácticas específicas. *Investigación en la escuela* 16: 7-21.
- Furió, C., R. Azcona y J. Guisasola. 1999. Dificultades conceptuales y epistemológicas del profesorado en la enseñanza de conceptos de cantidad de sustancia y de mol. *Enseñanza de las Ciencias* 17(3): 359 – 376.
- Furió Mas, C. J. 1994. Tendencias actuales en la formación del profesorado de Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias* 12 (2): 188-189
- Gabás, R. 1980. *J. Habermas: Dominio técnico y comunidad lingüística*. Barcelona: Ariel.
- Gaite Cuesta, M. 2005. Átomos.  
[http://concurso.cnice.mec.es/cnice2005/93\\_iniciacion\\_interactiva\\_materia/curso/materiales/indic\\_e.htm](http://concurso.cnice.mec.es/cnice2005/93_iniciacion_interactiva_materia/curso/materiales/indic_e.htm). (Consultado: 25/ 06/ 05).
- Gabas, R. 1980. *J. Habermas: Dominio técnico y comunidad lingüística*. Barcelona: Ariel.
- Gallart, M. 1993. La integración de métodos y la metodología cualitativa. Una reflexión desde la práctica de la investigación. En *Métodos Cualitativos II*. Buenos Aires: Centro Editor de América Latina.
- Gamow, G. 1974. *Treinta años que conmovieron la Física*. Buenos Aires: EUDEBA.

- García, B. et al. 2002. El análisis de la práctica educativa. En *Evaluación de la docencia. Perspectivas Actuales*. Rueda Beltrán y F. Díaz Barriga, comp. México: Paidós.
- García, R. 1988. *La investigación interdisciplinaria de Sistemas Complejos* (Pre-Print)
- García, R. 1997. *La epistemología genética y la ciencia contemporánea*. Barcelona: Gedisa.
- García Madruga, J. y Martín Cordero, J. 1987. *Aprendizaje, comprensión y retención de textos*. Madrid: UNED.
- Gardner, H. 1995. *Inteligencias múltiples. La teoría en la práctica*. España: Paidós.
- Gil Perez, D. 1983. *Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las Ciencias*. *Revista Enseñanza de las Ciencias* 1(1): 26-33.
- Gil Pérez, D., F. Senent y J. Solbes. 1987. Análisis crítico de la introducción de la Física Moderna en la enseñanza media. *Revista de Enseñanza de la Física* 2 (1).
- Gil Perez, D. 1991. ¿Que han de saber y saber hacer los profesores de Ciencias?. *Revista Enseñanza de las Ciencias* 9(1): 69-77.
- Gil, D. y J. Solbes. 1993. The introduction of modern physics: overcoming a deformed vision of science. *International Journal of Science Education* 15(3): 255-260.
- Gil Perez, D. 1993. Contribuciones de la Historia y la Filosofía de las Ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/ aprendizaje como investigación. *Revista Enseñanza de las Ciencias* 11(2).
- Gil Perez, D. 1994. Diez años de investigación en didáctica de las ciencias : realizaciones y perspectivas. *Revista Enseñanza de las Ciencias* 12 (2): 154-164.
- Gimeno Sacristán, J. y A. Pérez Gómez. 1992. *Comprender y transformar la enseñanza*. Madrid: Morata.
- Giordan, A. 1985. *La enseñanza de las ciencias*. Madrid: Siglo Veintiuno.
- Goetz, J. P. y M. D. Lecompte. 1988. *Etnografía y diseño cualitativo en investigación educativa*. Madrid: Morata.
- Gómez Moreno, B., D. Rodríguez y P. Soto. 1997. Talleres sobre Tópicos de Física Contemporánea. Experiencia con un Programa de Formación Permanente de Docentes. Universidad de los Andes.
- <http://www.prof.uniandes.edu.co/~bgomez/tfc.html> (Consultado: 23/10/07)
- González, E., P. Fernández y Solbes, J. “Dificultades de docentes de ciencia en la conceptualización de temas de física actual.” En Memorias SIEF VII. La Pampa. 2004.
- Goodson, I. 2003. Hacia un desarrollo de las historias personales y profesionales de los docentes. *Revista Mexicana de investigación Educativa* 8(19): 733 – 758.
- Granger, G. 1989. Para una epistemología del trabajo científico. En *La filosofía de las Ciencias, hoy*. Jean Hamburger. México: Siglo XXI.
- Greca, I. M y M. A. Moreira. 2001. Uma revisao da literatura sobre estudos relativos ao Ensino

- da Mecanica Quantica Introdutoria. <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol6/n1>
- Greca, I. M. y V. E. Herscovitz. 2002. Construyendo significados en Mecánica Cuántica: Fundamentación y resultados de una propuesta innovadora para su introducción en el nivel universitario. *Enseñanza de las Ciencias* 20 (2): 327 – 338.
- Gurgel, I. y M. Pietrocola. “A imaginacao científica: aspectos da construcao do conhecimento. sob a perspectiva da criacao subjetiva”. IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educacao em Ciencias. Bauru. SP, 2003.
- Guridi, V. y Salinas, J. “El perfil epistemológico en la enseñanza de la física clásica”. XI Reunión Nacional de Educación en la Física. Mendoza., 1999.
- Habermas, J. 1987. *Teoría de la acción comunicativa*. Madrid: Taurus.
- Habermas, J. 1988. *La lógica de las ciencias sociales*. Madrid: Tecnos.
- Habermas, J. 1992. *Ciencia y técnica como ideología*. Barcelona: Paidós.
- Habermas, J. 2010. *Ciencia y técnica como ideología*. Madrid: Tecnos.
- Halbwachs, F. 1977. *Reflexiones sobre la causalidad física*. En *Teorías de la Causalidad*. Salamanca: Sígueme.
- Heelan, P. A. 1995. Quantum mechanics and the social sciences: after hermeneutics. *Science & education* 4: 127-136.
- Heisenberg, W. 1993. *La imagen de la naturaleza en la física actual*. Barcelona: Planeta
- Hernández Sampieri, R. et al. 2000. *Metodología de la Investigación*. México: Mc Graw Hill.
- Hernández Hernández, P. 1997. Construyendo el constructivismo: criterios para su fundamentación y su aplicación instruccional. En *La construcción del conocimiento escolar* Rodrigo, M.J y Arnay, J. comp. Barcelona: Paidós.
- Hewitt, P. G. 1995. *Física Conceptual*. Wilmington: Addison-Weley Iberoamericana.
- Hobson, A. 1994. Teoría cuántica y educación concerniente. *Enseñanza de la Física* 7 (2).
- Hobson, A. 1996. Teaching quantum theory in the introductory course. *The Physics Teacher* 31 (5): 202 – 210.
- Hodson. 1994. Hacia un enfoque más crítico del trabajo del laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias* 12(3): 299-313.
- Holton, G. 1976. *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*. Barcelona: Reverté.
- Holton, G. 1982. *Ensayos sobre el pensamiento científico en la época de Einstein*. Madrid: Alianza.
- Holton, G. 1988. *Fundamentos de Física Moderna*. Barcelona: Reverté.
- Huberman, M., C. Thomson y S. Weiland. 2000. Perspectivas de la carrera de profesor. (Capítulo 1) En *La enseñanza y los profesores I. La profesión de enseñar*. Biddle, B. Good, T y Goodson. Barcelona: Paidós

- Iglesias, A. I. 1992. El Perfeccionamiento Docente en Física desde una Perspectiva Social. *Revista Brasileira de Ensino de Física* 14(4).
- Iglesias, A. I. y A. Rivière. “Lenguaje figurado, física y educación.” X Reunión de Enseñanza de la Física.” APFA, 1997.
- Iglesias, I. y C. Speltini. “Criterios para analizar y textos didácticos del nivel secundario sobre la teoría actual de la estructura de la materia.” Memorias VI Conferencia Interamericana sobre Educación en Física. Córdoba, 1997: 147-156.
- Iglesias, A. I. “Comprensión escolar de la ciencia y lenguaje figurado. Tesis de Maestría en Didáctica.” Facultad de Filosofía y Letras. Universidad de Buenos Aires, 1999.
- Iglesias, A., C. Fresnedo y M. Martínez. “La enseñanza de modelos atómicos: una experiencia de investigación – acción.” Memorias XIV Reunión de Enseñanza de la Física. APFA. Bariloche. 2005. Cd.
- Iglesias, A., C. Fresnedo y M. Martínez. “Los docentes reflexionan sobre la enseñanza de los modelos atómicos.” SIEF 8. APFA. Gualeguaychú, 2006.
- Iglesias, A., C. Fresnedo y M. Martínez. “Reflexionando sobre una práctica de enseñanza de la ciencia desde la investigación – acción.”- XVIII Encuentro Estado de la Investigación Educativa CIFE / Reduc. Universidad Católica de Córdoba, 2007.
- Iglesias, A. I. 2009. Producción de cuentos fantásticos y comprensión del mundo atómico. En *Discurso y educación. Herramientas para un análisis crítico de los discursos educativos*. Pini, M., comp. UNSAM EDITA.
- Islas, S. M y M. Pesa. 2004 Concepciones de los profesores sobre el rol de los modelos científicos en clases de física. *Revista de Enseñanza de la Física* 17(1): 43-50.
- Jackson, P. 2002. *Práctica de la enseñanza*. Buenos Aires: Amorrortu.
- Klimovsky, G. 1999. *Las desventuras del conocimiento científico. Una introducción a la epistemología*. Buenos Aires: A-Z editora.
- Koyré, A. 1995. *Estudios de historia del pensamiento científico*. Madrid: Siglo Veintiuno editores.
- Kragh, H. 1992 A sense of History: History of Science and the Teaching of Introductory Quantum Theory. *Science & Education* 1: 349-363.
- Kuhn, T. 1971. *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica.
- La Nación*. 2008. Comenzó con éxito el mayor experimento de la historia. Septiembre 11.
- Laudan, L. 1993. Un enfoque de solución de problemas al progreso científico. En *Revoluciones científicas*. I. Hadking. México: Fondo de Cultura Económica.
- Lawrence, I. 1996. Quantum physics in school. *Physics Education* 31(5): 278-286.
- Lemke, J. L. 1997. *Aprender a hablar de ciencia. Lenguaje, aprendizaje y valores*. Buenos Aires: Paidós.

- Lemke, J. 1998. Multiplying meaning. Visual and verbal semiotics in scientific text. En: *Reading Science*. Cap. 5. Martin, J. R. and Robert Veal, edit. London: Routledge.
- Litwin, E. 1996. El campo de la didáctica: La búsqueda de una nueva agenda. En *Corrientes didácticas contemporáneas*. Buenos Aires: Paidós.
- Litwin, E. 1997. *Las configuraciones didácticas*. Buenos Aires: Paidós.
- Litwin, E. 2008. *El oficio de enseñar*. Buenos Aires: Paidós.
- López Rupérez, F. 1994. *Más allá de las partículas y de las ondas*. Madrid: C.I.D.E.
- Lombardi, O. y R. Pietrokowski. 1997. Una aproximación a la Didáctica de la Mecánica Cuántica. En *Leonardo Da Vinci. Conocimiento para la evolución de la Democracia*. UNLZ. (s/r)
- Lombardi, O. 1998. La noción de modelo en ciencias. *Educación en ciencia* II (4): 7 a 13.
- Lombardi, O. 2005. Mecánica cuántica: ontología, lenguaje y racionalidad. CONICET - Universidad Nacional de Quilmas. (pre-print)
- Luhl, J. 1992. Teaching of social and philosophical background to atomic theory. *Science & Education* 1: 193-204.
- Luque Lozano, A. 1997. Concepciones constructivistas y práctica escolar. En *La construcción del conocimiento escolar*. Rodrigo, M.J. y Arnay, J. comp. Barcelona: Paidós.
- Lyons, F. 2006. Different countries same science classes: Students' experiences of school science in their own words. *International Journal of Science Education* 28 (6): 591 – 613.
- Machado, J. N. 1995. *Epistemología y didáctica. Las concepciones de conocimiento e inteligência e a prática docente*. Sao Paulo: Cortez.
- Maiztegui, A. P. y J. Sábato. 1972. *Introducción a la Física 2*. Buenos Aires: Kapelusz.
- Maiztegui, A., J.A. Acevedo, A. Caamaño, A. Cachapuz, P. Cañal, A.M.P. Carvalho, L. Del Carmen, A. Dumas Carré, A. Garritz, D. Gil, E. González, A. Gras-Martí, J. Guisasola, J.A. López-Cerezo, B. Macedo, J. Martínez-Torregrosa, A. Moreno, J. Praia, C. Rueda, H. Tricárico, P. Valdés y A. Vilches. 2002. Papel de la tecnología en la educación científica: una dimensión olvidada. *Revista Iberoamericana de Educación* 28: 129-155.
- Martinand, J. 2003. La question de la reference en didactique du curriculum. *Investigación en Enseñanza de las Ciencias* 8(2).
- Massa, M. et al. "La teoría de la estructura de la materia. Un interesante tema en la formación de conceptos del profesor de física." II Simposio de Investigación en Educación en Física. Facultad de Ingeniería, UBA, 1994.
- Matthews, M. R. 1994. *Science Teaching. The Role of History and Philosophy of Science*. N.Y. London: Routledge.
- Meinardi, E., A. Aduriz Bravo, L. Morales y L. Bonan. 2002. El modelo de ciencia escolar. Una propuesta de la didáctica de las ciencias naturales para articular la normatividad educacional y la realidad del aula. *Enseñanza de la Física* 15 (1): 13 - 21.

- Meirieu, P. 1992. *Aprender sí. Pero ¿Cómo?* Barcelona: Octaedro.
- Minnick Santa, C. y D. Alvermann, comp. 1994. *Una didáctica de las Ciencias*. Buenos Aires: Aique.
- Moledo, L. "Máquinas antiguas para un museo nuevo." *Página 12. Ciencia*. Abril 12, 2006. <http://www.pagina12.com.ar/diario/ciencia/19-65465-2006-04-12.html> (Consultado 24/3/07)
- Moll, L. C., comp. 1990. *Vygotsky y la educación: connotaciones y aplicaciones de la Psicología Sociohistórica en la Educación*. Buenos Aires: Aique.
- Montenegro, R. y Pessoa, O. 2002. Interpretações da Teoria Quântica e as Concepções dos Alunos do Curso de Física. *Investigacoes em Ensino de Ciencias* 7 (2).
- Moreira, M. A. 1990. Pesquisa em Ensino: Aspectos Metodológicos e Referenciais Teóricos à luz do Vê epistemológico de Gowin. Sao Paulo: Editora Pedagógica e Universitaria.
- Moreira, M. A. y R. Axt. 1991. *Tópicos em Ensino de Ciências*. Porto Alegre: Sagra.
- Moreira, M. A. 2000. Aprendizaje significativo crítico. Conferencia dictada en el III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa. Lisboa. Publicada en Actas, p. 33-55.
- Moreira, M. A. 2002. Sobre monografías, disertaciones, tesis, artículos y proyectos de investigación: Significados y recomendaciones para principiantes en el área de educación científica. Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias. Universidad de Burgos y Universidad Federal do Rio Grande do Sul. (pre-print)
- Moreira, M. A. 2003. Investigación Básica en Educación en Ciencias: Una visión personal. Conferencia dictada en el I Congreso Iberoamericano de Educación en Ciencias Experimentales, La Serena, Chile, 1998, y en el I Congreso Nacional de Educación en Ciencias Naturales, Córdoba, Argentina, 2004; entre otros.
- Mortimer, E. 1996. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? *Investigacoes em Ensino de Ciencias* V (1): 20-39
- Mortimer, E. F. y A. H. Machado. "Elaboração Conceitual e Linguagem Na Sala de Química e Ciências." III Escola Latino-Americana sobre Pesquisa em Ensino de Física. Canela. RS, 1996. (pre- print)
- Mortimer, E. F. y A. M. Pessoa De Carvalho. 1996. Referenciais Teóricos Para Análise do Processo de Ensino de Ciências. *Cadernos Pesquisa Sao Paulo* (96): 5-14.
- Mortimer, E. y Scott, F. 2002. Atividades discursiva nas salas de aula de ciencias: uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino. *Investigaciones en Enseñanza de las Ciencias* 7(3).
- Mortimer, E. 1996. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? *Investigacoes em Ensino de Ciencias* V (1): 20-39  
<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol7/n3>. (Consultado 15 / 09/ 04)



- Munby, H. y H. Russell. 1998. Epistemology and context in research on learning to teach science. En *International Handbook of Science Education II*: 643-665. Fraser, B.J. y K.G. Tobin, ed. Londres: Kluwer Acad.
- NCSSM DISTANCE LERNING T.I.G.E.R. Chemistry page 1. *Electron Orbits. Exe.* <http://www.dlt.ncssm.edu/TIGER/chem1.htm> (Consultado: 26/ 06/ 05)
- Newton - Smith, W. H. 1987. *La Racionalidad de la Ciencia*. Barcelona:Paidós Studio.
- Niedderer, H. y S. Deylitz. "Evaluation of a new approach in quantum atomic physics in high school." An. Meeting National Association for Research in Science Teaching. Boston. 1999. [www.phys.ksu.edu/perg/papers/narst](http://www.phys.ksu.edu/perg/papers/narst). (Consultado: 15/ 08/ 04)
- Novak, J. D. y D. B. Gowin. 1988. *Aprendiendo a aprender*. Barcelona: Martinez Roca.
- Oliva, J. M. et al. 2001. Una propuesta didáctica basada en la investigación para el uso de analogías en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias* 19 (3).
- Osborne, R. y P. Freiberg. 1995. *El aprendizaje de las ciencias*. Madrid: Narcea.
- Ostermann y Moreira. 2000. Física contemporánea en la escuela secundaria: una experiencia en el aula involucrando formación de profesores. *Enseñanza de las Ciencias* 18(3): 391-404.
- Ostermann, F. y M. Moreira. 2000. Uma revisao bibliografica sobre a area de pesquisa "Física Moderna e Contemporanea no ensino medio". *Revista de Investigación en Enseñanza de las Ciencias* 1 (5).
- Ostermann, F. y Ricci, P. 2005. Conceitos de física quântica na formação de professores: relato de uma experiencia didática centrada no uso de experimentos virtuais. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. 22 (1).
- Palma, H. 2004. *Metáforas en la evolución de las ciencias*. Buenos Aires: J. Baudino Ediciones.
- Palma, H. 2008. *Filosofía de las ciencias*. San Martín: UNSAMedita.
- Pardo, M. L. 1999. *Lingüística de la ficción*. (pre-print)
- Parry-Hill, M. J., C. A. Burdett and M.W. Davidson. "Secret words: The Universe within." The Florida State University, 2005. <http://micro.magnet.fsu.edu/primer/java/scienceopticsu/powersof10/index.html>. (Consultado: 26/ 06/ 05)
- Paulo, G. y Moreira, M. 2004. Abordando conceitos fundamentais da mecânica quântica no nível médio. *Revista da Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciência*. V4, pp 63-73.
- Penrose, R. 1994. *Las sombras de la mente*. Barcelona: Dakrontos / Crítica.
- Perrenoud, P. 2004. *Diez nuevas competencias para enseñar*. Barcelona: Graó.
- Pessoa De Carvalho, A. 2005. Metodología de investigación en enseñanza de física: Una propuesta para estudiar los procesos de enseñanza y aprendizaje. *Revista de Enseñanza de la Física* 18 (1): 29-37.

- Petrucci, D., Ure, J. y Salomone, H. 2006. Cómo ven a los trabajos prácticos de laboratorio de física los estudiantes universitarios. *Revista de Enseñanza de la Física* 19 (1): 7-20.
- Piaget, J. y R. García. 1992. *Psicogénesis e Historia de la Ciencia*. Buenos Aires: Siglo Veintiuno Editores.
- Piassi, L. P. y M. Pietriocola. “Primeiro Contato: Ficcao Científica para Abordar os Limites do Conhecido em Sala de Aula.” XVII Simposio Nacional de Ensino de Física. Sao Luis, 2007.
- Pinto, A. C. y J. Zanetic. 1999. É possível levar a Física Quântica para o ensino médio? *Caderno Catarinense de Ensino de Física* 16 (1): 7-34.
- Planck, M. 1900. *Annalen der Physik* 1(99)
- Porlán Ariza, R. 1994. El saber práctico de los profesores especialistas. Aportaciones desde las didácticas específicas. *Investigación en la Escuela* 24: 49-58.
- Porlán Ariza, R. 1998. La formación inicial de maestros en Didáctica de las Ciencias. Análisis de un caso. *Investigación en la Escuela*. 35.
- Porlán Ariza, R. Y A. Rivero. 1998. *El conocimiento de los profesores*. Sevilla: Díada Editora.
- Porlán Ariza, R., R. Martín Del Pozo, J. Martín y A. Rivero. 2001. *La relación teoría – práctica en al formación permanente del profesorado*. Sevilla: Díada Editora.
- Porlán, R. y Martín Del Pozo, R. 2002 La formación del profesorado en un contexto constructivista. *Investigaciones en Enseñanza de las ciencias*. v7 (3): 271-281.
- Porlán, R. y Martín Del Pozo, R. 2005. La formación del profesorado en un contexto constructivista. *Investigaciones en Enseñanza de las ciencias* 7 (3): 271-281.
- Rezende, S. y Ostermann, F. 2006. Enseñanza-aprendizaje de Física en Brasil: confrontando teoría y práctica en el inicio del siglo XXI. *Enseñanza de las Ciencias*. 24 (3).
- Rivière, A. 1986. *Razonamiento y representación*. Madrid: Siglo Veintiuno de España.
- Rivière, A. 1988. *La psicología de Vygotsky*. Madrid: Visor.
- Rivière, A. 1993 a. Sobre objetos con mente. *Anuarios de Psicología* 56
- Rivière, A. 1993 b. Las multitudes de la mente. *Anuarios de Psicología* 56
- Rivière, A. 1996. Comprensión del discurso. En *Psicología del lenguaje. Investigación y teoría*. Belinchón, M. et al. Valladolid: Trotta.
- Rivière, A. 1997. *Metarrepresentación y teoría de la mente*. (pre-print)
- Rodrigo, M. y J. Arnay. 1997. *La construcción del conocimiento escolar*. Madrid: Paidós.
- Rosas, R., comp. 2001. *La mente reconsiderada*. Santiago de Chile: Psykhe.
- Rotunno, C. y E. Díaz de Guíjarro. 2003. *La construcción de lo posible. La Universidad de Buenos Aires de 1955 a 1966*. Buenos Aires: Libros del Zorzal.
- Rouxinol Dos Santos Neto, E. y M. Pietrocola P. De Oliveira. “Identificando o obstáculo cultural em aulas de física do ensino médio.” V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em

- Ciências. Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências. Atas do V ENPEC. 2005
- Rueda Beltrán, M. y F. Díaz Barriga Arceo, comp. 2000. *Evaluación de la docencia. Perspectivas actuales*. Barcelona: Paidós.
- Sabino, C. A. 1986. *Como hacer una tesis. Guía para elaborar y redactar trabajos científicos*. Buenos Aires: Humanitas.
- Samaja, J. 1993. *Epistemología y metodología*. Buenos Aires: EUDEBA.
- Sametband, M. 1994. *Entre el orden y el caos: la complejidad*. México: Fondo Cultura Económica.
- Sánchez, P. 2004. De la Física clásica a la Física Cuántica. *Revista Enseñanza de la Física* 18(2): 111-114.
- Schoedinger, E. 1988. *Mi concepción del mundo*. Barcelona: Tusquets.
- Schön, D. A. 1992. *La formación de profesionales reflexivos*. Madrid: Paidós.
- Shulman, L. 1989. Paradigmas y programas de investigación en el estudio de la enseñanza: una perspectiva contemporánea. En *La investigación de la enseñanza*, Wittrock, M. C. Barcelona: Paidós.
- Sinha, C. "Signifying Subjects." Encontro Sobre Teoría e Pesquisa em Ensino de Ciências. Linguagem, Cultura e Cognição. Facultad de Educacao. UFMG, 1997.
- Siqueira, M. y M. Pietrocola. "Revisando materiais de ensino médio sobre o tema física de partículas elementares." Atas do V ENPEC - Nº 5. 2005
- Siqueira, M. y M. Pietrocola. "A transposição didática aplicada a teoria contemporânea: a física de partículas elementares no ensino médio." X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Londrina, 2006.
- Solbes, J., M. L. Calatayud, J. B. Climent y J. Navarro. 1987a. Diseño de un currículo para la introducción del modelo atómico cuántico. *Enseñanza de las Ciencias* Nro. Extra: 209-210.
- Solbes, J., M. L. Calatayud, J. B. Climent y J. Navarro. 1987b. Errores conceptuales en los modelos atómicos cuánticos. *Enseñanza de las Ciencias* 5 (3): 189-195.
- Souto de Asch, M. 1993. *Hacia una didáctica de lo grupal*. Buenos Aires: Miño y Dávila.
- Stake, R. E. 1999. *Investigación con estudio de casos*. Madrid: Morata.
- Stefanel, A. 1998. Una experiencia en el marco de la introducción de la física cuántica en la escuela secundaria. *Enseñanza de la Física* 11 (2) : 35-44.
- Strnad, J. 1986. Photons in introductory quantum physics. *American Journal Philosophy*. 54 (7): 650-652.
- Sutton, C. "The mistrust of words." Proceeding Sec. International Conference History and Philosophy of Science and Scie. Teachers. Ontario, 1992.

- Sutton, C. 1993. Figuring Out a Scientific Understanding. *Journal of Reserch Science Teaching*. 30 (10)
- Sutton, C. 1997. Ideas sobre la ciencia e ideas sobre el lenguaje. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales* Año IV. 12 (8): 33.
- Taylor, S.J. y Bogdan, R. 2009. *Introducción a los métodos cualitativos de investigación*. Barcelona: Paidós.
- Terrazzan, E. 1992. A inserção da física moderna e contemporanea no ensino de física na escola de 2° grau. *Caderno Catarinense de Ensino de Física* 9 (3): 209-214.
- Terrazzan, E. "Perspectivas para a inserção da física moderna na escola média." Tesis de Doctorado. U. S. P., 1994. (pre-print)
- Tipler, P. A. 1989. Capítulo 3: Cuantización de la electricidad, de la luz y de la energía. En *Física Moderna*. Barcelona: Reverté.
- Torre, A. C. De La. 1994. *Física cuántica para filo-sofos*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica de Argentina.
- Torre, A. De La. 1995. Ser y no estar. Esta es la cuestión de la Física cuántica. *Revista de Enseñanza de la Física* 8 (2): 45 a 49.
- Toulmin, S. 1977. *La comprensión humana*. Madrid: Alianza.
- Unal, R. y D. Zollman. 2001. Students description of an atom: a phenomenographic analysis. [www.phys.ksu.edu/perg/papers/](http://www.phys.ksu.edu/perg/papers/)
- Valadares, E. C. y A. M. Moreira. 1998. Ensinando física moderna no segundo grau: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. *Caderno Catarinense de Ensino de Física* 15(2): 121-135.
- Van Dijk, T. 1992. *La ciencia el texto*. Barcelona: Paidós.
- Vasilachis de Gialdino. 1993. El análisis lingüístico en la recolección e interpretación de materiales cualitativos. En *Métodos Cualitativos II. La práctica de la investigación*. Buenos Aires: Centro Editor de América Latina.
- Vega, M. De. 1994. *Introducción a la psicología cognitiva*. Madrid: Alianza Psicología.
- Villareal, M. y C. Esteley. 2002. Una caracterización de la Educación Matemática en Argentina. *Enseñanza de la Física* 15 (2): 23-25.
- Vior, S. y D. Wiñar. 2005. DOSSIER Educación técnica y empleo. *Le monde Diplomatique* 78.
- Vygotsky, L. 1987a. *Pensamiento y Lenguaje*. Buenos Aires: La Pléyade.
- Vygotsky, L. 1987b. *Historia del desarrollo de las funciones psíquicas superiores*. Científico - Técnica. La Habana.
- Vygotski, L. S. 1991. *Obras Escogidas*. Tomos I, II. Madrid: Aprendizaje Visor
- Wagensberg, J., ed. 2004. *Sobre la imaginación científica*. Barcelona: Tusquets.

- Wainerman, C. y R. Sautú, comps. 1998. *La trastienda de la investigación*. Buenos Aires: Belgrano.
- Watzlawick, P. 1987. *Teoría de la comunicación humana*. Barcelona: Herder.
- Weinberg, S. .1994. *El sueño de una teoría final*. Barcelona: Drakontos.
- Weissmann, H., comp. 1993. *Didáctica de las ciencias naturales. Aportes y reflexiones*. Buenos Aires: Paidós.
- Wertsch, J. V. 1988. *Vygotsky y la formación social de la mente*. Buenos Aires: Paidós.
- Wiske, M. S., comp. 1999. *La Enseñanza para la Comprensión. Vinculación entre la investigación y la práctica*. Buenos Aires: Paidós.
- Wittrock, M. 1989. *La investigación de la enseñanza. I, II, III*. Barcelona: Paidós.
- Young, H. 1979. *Óptica y Física Moderna*. México: Mc. Graw Hill.
- Yuni, J. y C. Urbano. 2000. *Investigación etnográfica e investigación acción*. Córdoba: Brujas.
- Yuni, J. y C. Urbano. 2000. *Mapas y herramientas para conocer la escuela. Investigación etnográfica e investigación – acción*. Córdoba: Brujas.
- Yuni, J. y C. Urbano. 2003. *Técnicas para investigar I*. Córdoba: Brujas.
- Yuni, J. y C. Urbano. 2003. *Técnicas para investigar II*. Córdoba: Brujas.
- Zanetic, J. 1989. *Física también es cultura*. Tesis de doctorado. U. S. P. (Pre-Print)



Universidad de  
San Andrés