

Física Contemporánea en la formación docente inicial: una descripción preliminar en un caso

Juan José Velasco
Directora: Dra. Zulma Gangoso

Facultad de Matemática, Astronomía y Física
Universidad Nacional de Córdoba

Marzo 2015



Al hermano que este camino me dió...Gonzalo Rodriguez

Índice general

Resumen	VI
Agradecimientos	VII
1. Introducción	1
2. Enseñanza de la Física Cuántica	4
2.1. Investigación en Enseñanza	4
2.2. Los Conocimientos de la Física Cuántica en el siglo XX	5
2.2.1. Los comienzos	5
2.2.2. La Noción de Probabilidad	6
2.2.3. Spin	7
2.3. Propósitos y Usos de la Física Cuántica	8
2.3.1. Conducción en Sólidos	8
2.3.2. Materiales dopados	9
2.3.3. Transistor	10
2.3.4. Aplicaciones del Transistor	12
2.3.5. Otras Aplicaciones de la Física Cuántica	13
3. Enseñanza para la Comprensión	14
3.1. ¿Qué es Comprender?	15
3.2. Marco Conceptual de la Comprensión	16
3.2.1. Dimensiones de la Comprensión	16
3.2.2. Niveles de Comprensión	18
4. Materiales y Métodos	19
4.1. Análisis de Documentos Oficiales: Plan de Estudios - Programa	19
4.2. Categorización de Desempeños de Comprensión	20
5. Resultados	24
5.1. Resultados de Análisis de Plan de Estudios y Programa	24
5.2. Categorización de Desempeños de Comprensión	30
5.2.1. Guías de Resolución de Problemas	30
5.2.2. Exámenes Parciales	31
5.2.3. Validación de Categorización	32

5.2.4. Discusión del Análisis	35
6. Conclusiones	37
6.1. Aseveraciones de Conocimiento	37
6.2. Discusión y Perspectivas	38
Bibliografía	39
7. Anexo	42
7.1. Categorización de Desempeños	42
7.2. Validación de Categorización	45
7.2.1. Categorizador 1	45
7.2.2. Categorizador 2	46
7.2.3. Categorizador 3	46
7.3. Plan de Estudios	47

Resumen

El Ministerio de Educación de la Nación, a través del Instituto Nacional de Formación Docente ha elaborado documentos y recomendaciones sobre la Formación Inicial de Docentes. Entre ellas, en el caso de la Física, refiere la necesidad de incorporar tópicos de Física Cuántica. En este trabajo se describen algunas características de un trayecto de formación inicial en la universidad.

Se utiliza la Teoría de la Enseñanza para la Comprensión para describir algunos elementos del complejo entramado del hecho educativo. Se definen indicadores a partir de la teoría, que refieren a lo que se denomina “Desempeños de Comprensión”. Éstos se utilizan para describir características de las actividades propuestas a los alumnos y establecer categorías de problemas. Así también, se analiza el lugar que ocupa la disciplina en cuestión en los planes de estudio de algunas unidades académicas.

Los resultados permiten inferir que existe un predominio de aspectos metodológicos en la enseñanza de la Física Cuántica en el caso.

Palabras Claves: Enseñanza para la Comprensión, Física Contemporánea, Desempeños.

Clasificación Biblioteca: 01.40.Fk Research in physics education

Abstract

The National Ministry of Education, through the National Teacher Training Institute has prepared documents and recommendations about the Initial Training of Teachers; including, in the case of Physics, refer the need to incorporate topics of Quantum Physics. This research describes some characteristics of an initial teacher training course in the University.

Indicators are defined from the Teaching for Understanding Theory, referring to what is called Performances of Understanding. These indicators are used to describe characteristics of the activities that were proposed to the students and then establish problems' classes. Furthermore, it is also analyzed the place of the course in the curriculum of some academic institutes. The results allow us to infer that there is a predominance of methodological aspects in teaching quantum physics in a case.

In a first approximation, the performances are primarily oriented to mathematical developments, to a lesser degree towards conceptual aspects and to almost no extent to knowledge applications in daily life.

Agradecimientos

Seguramente que unas páginas no alcanzarán para agradecer a todas las personas que formaron parte de este camino, como así tampoco las palabras para expresar el aprecio hacia todas ellas. De todas maneras, valga este intento para agradecer en los siguientes renglones.

A Zulma, por las grandes enseñanzas que me transmitió. Las más importantes, no se alcanzarán a reflejar en las páginas de este trabajo. Un ejemplo de entrega.

A Daniel Barraco, por revisar gentilmente los capítulos destinados a física cuántica y por la amabilidad de su recepción en cada reunión.

A Ricardo Zamar, no sólo por haberme enseñado muchas cosas como profesor y por su gran colaboración en este trabajo, sino principalmente por ser un ejemplo como persona.

A Pedro Pury y Analía Pedernera por su enorme colaboración en el trabajo en el estudio de validación.

A Oscar Bustos, por el asesoramiento en el análisis estadístico de la investigación. Además, por su gran amabilidad que mostró...otro ejemplo de persona.

A Vanessa Álvarez, por su gran ayuda en este año de trabajo. Un ejemplo de compañerismo.

A todo el grupo de enseñanza, Diego, Lucrecia, Alberto, Susana, María Elena, por conformar un hermoso grupo de trabajo y amistad.

A mis papás, por darme lo que necesitaba y más, y darse completamente.

A mi novia Catherine, por ayudarme tanto en este camino y acompañarme en cada momento, con paciencia y amor.

A mis hermanos, por ser tan grandes compañeros.

A Lolo...por Todo.

A quienes fueron mi segunda familia. Gracias Estela, Sergio y Constanza por todo lo que me dieron a lo largo de estos años.

A los amigos que me dió esta facultad, sin los cuales, aprender no hubiese sido lo mismo. Gracias Fernando, Julián, Macarena, Agustín, Héctor y Benjamín.

A mis alumnos y mi escuela, quienes le dieron sentido a este caminar.

A todos los profesores que tuve a lo largo de la carrera. No los nombro individualmente, pero cada uno me dejó un sinfín de enseñanzas.

Al personal de la facultad, de todos los ámbitos, por su especial predisposición y amabilidad.

Capítulo 1

Introducción

La enseñanza de la Física de los siglos XX y XXI, pensada como parte de la cultura o como contenido a enseñar en el nivel secundario, es motivo de preocupación en la comunidad en la última década. Dan cuenta de ello, numerosas investigaciones a nivel nacional e internacional sobre diversos aspectos de la enseñanza de la cuántica Zollman, 1999, 2001; Baily and Finkelstein (2004); Johnston, K. Crawford y P. Fletcher, 2006; Moreira, Greca, 2004; Greca y Hertzovich, 2009; Fanaro, 2009; Solbes y Sinarcas 2010, Sinarca, Solves, 2013.

El “cambio en la manera de pensar” y las dificultades representacionales son los inconvenientes reportados con mayor frecuencia. En general, las investigaciones barren un espacio que va desde algunos trabajos con perspectiva netamente epistemológica, hasta otros de vertiente didáctica. En estos últimos el objetivo es desarrollar estrategias para la enseñanza de algunos tópicos. La necesidad de matemática avanzada para la formalización de los eventos cuánticos ha sido uno de los mayores obstáculos que ha enfrentado su enseñanza, sin embargo el uso de tecnologías digitales está modificando esta situación.

Las representaciones externas (cuadros, diagramas, gráficos, modelos concretos) han sido tradicionalmente valiosos instrumentos para el profesor de física. El interjuego entre representaciones internas y externas -“visualizaciones”- que construyen los sujetos juega un papel clave en el aprendizaje. El empleo de computadoras personales y el desarrollo de software han ampliado las áreas de simulación, realidad virtual, y la animación. Los estudiantes ahora intervienen activamente en la ejecución de modelos, aspecto clave de metodología científica. Actualmente existen desarrollos de teorías cognitivas de representación y visualización, con implicaciones para el diseño de plan de estudios de ciencia, y para orientar las maneras de dar clases en aulas y laboratorios. Gilbert, John K., Reiner, Miriam, Nakhleh, Mary (Eds.), 2008. La enseñanza de la física cuántica puede, de manera particular, tomar ventaja de estos progresos.

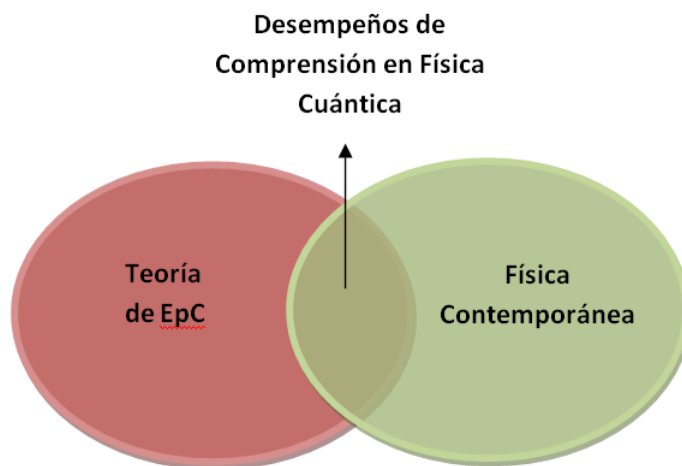
La enseñanza de Mecánica Cuántica en la escuela media, más aún en la formación de profesores, se fundamenta en primer lugar en los avances tecnológicos actuales, tanto en el área de la electrónica basada en semiconductores, el láser y los derivados de la Física nuclear como en las más recientes como la computación cuántica, la nanotecnología y la biotecnología. La inclusión de estos contenidos no sólo permitiría definir la sociedad actual sino también impulsa una actividad cognitiva deseable de desarrollar en los jóvenes del

Siglo XXI. Comprender fenómenos cuánticos demanda razonar en términos probabilísticos superando el sentido determinista de las concepciones clásicas y la renuncia a una idea de realidad externa, objetiva e independiente del observador, para saberse involucrado y perturbado lo que observa.

En nuestro país, el Instituto Nacional de Formación docente, inicia en 2007 un proceso de renovación en la Formación Docente Inicial que culmina con el Proyecto de Mejora de la Formación Inicial de Profesores de Secundaria publicado en 2009 [20]. En el, la Física del Siglo XX es uno de los núcleos formativos y allí se recomienda su inserción en la escuela secundaria. Sin embargo, sondeos informales en escuelas secundarias de la jurisdicción Córdoba tanto públicas como privadas, indican ausencia de tópicos de física contemporánea en los diseños curriculares. Es posible suponer que esta circunstancia se deba a que en las tradiciones formativas de profesores, la física cuántica estuvo ausente. Tiene sentido entonces preguntarse, ¿cuál es el estado de la enseñanza de la física cuántica en la formación de profesores? ¿Qué material de estudio se utiliza? ¿Cuáles son los tópicos abordados? ¿Qué estrategias didácticas se utilizan? ¿Qué lugar ocupan las tecnologías digitales en la enseñanza? ¿Qué criterios se utilizan para seleccionar contenidos? ¿Qué lugar ocupa la visualización en el proceso de aprender? ¿Qué idea tienen los profesores sobre estos tópicos? ¿Cómo se facilita la comprensión?

Estos diversos interrogantes tendrían lugar en un programa amplio e interdisciplinar capaz de dar cuenta de diversas variables del complejo entramado del evento educativo. El presente trabajo se orienta a realizar un aporte preliminar describiendo tentativamente algunas características de la enseñanza de la física cuántica en un caso. La selección de referentes teóricos que iluminen la descripción y los objetos a describir, se corresponden con la primera etapa del proceso de modelado de la situación a estudiar. Teniendo en cuenta que el Proyecto de Mejora ha sido escrito a la luz de la teoría de la Enseñanza de la Comprensión y que las Metas de Comprensión se encuentran explícitas en varios niveles, tiene sentido elegir ese marco teórico para este estudio preliminar. Así la pregunta central que se intenta responder es:

¿Cuáles son algunas características de los Desempeños de Comprensión en Física Contemporánea, presentados a estudiantes en un curso de Formación Inicial de Profesorado en Física?



En el capítulo 2, se compila brevemente algunos fundamentos con respecto a la inclusión de la física cuántica en la formación básica de un ciudadano. Las líneas principales expuestas se centran en dos aspectos: la escalada de ideas que arribaron a un cambio de cosmovisión y el impacto tecnológico que las mismas produjeron. Se trata de cambios tanto en la forma de pensar como en la comprensión del mundo que rodea al hombre, importantes para considerar en las propuestas académicas.

En el capítulo 3, se presentan aspectos generales de la Teoría de la EpC con vistas a justificar su pertinencia para la descripción planteada. Se detallan algunas características que la misma expone en relación a las cualidades de la comprensión. La teoría plantea estas cualidades en dos ejes, denominados dimensiones y niveles, con la generalidad suficiente para realizar una extensión a cualquier campo de conocimiento. Principalmente, la EpC define la comprensión centrada en desempeños. Esta visión será una guía transversal a lo largo de la investigación.

En el capítulo 4 se describen los materiales analizados. En un primer momento se ubican los tópicos de Física contemporánea y se relacionan con el resto de la Formación. Se presentan datos de las tres carreras de profesorado que existen en la jurisdicción. Luego, de manera consistente con la definición de desempeños de comprensión, se presentan las actividades propuestas a los estudiantes que serán objeto de análisis. Se presentan los criterios teóricos que dan lugar a la definición de indicadores.

En el capítulo 5 se presentan los resultados y el análisis de concordancia que se realiza para dar validez a los datos.

Capítulo 2

Enseñanza de la Física Cuántica

2.1. Investigación en Enseñanza

La enseñanza de la Física Cuántica ha sido y es eje de numerosas investigaciones en el área de la Enseñanza de la Física. Dada la necesidad de incorporar tópicos de esta disciplina en la formación básica, diversos grupos de investigación se abocaron a estudiar las dificultades que se presentan en el momento de su aprendizaje. Entre los principales desafíos para extender estas ideas abstractas y no intuitivas, los investigadores se orientaron centralmente en la comprensión conceptual de la física cuántica. La pregunta primaria era, ¿Es posible que los estudiantes se apropien de las ideas de esta disciplina incluso sin estar familiarizados con matemática avanzada?[31, 14].

Estudiando los procesos de aprendizaje, los investigadores fueron capaces de determinar la efectividad de algunas técnicas. Se trabajó en visualización mediante simulaciones computacionales y actividades conceptuales, como así también en la evaluación de técnicas de resolución de problemas mediado por programas[22, 12, 17]. Por otro lado, se profundizó en los enfoques tradicionales de enseñanza y aprendizaje orientándolos a los desafíos actuales[8, 7, 18, 3, 9, 4, 2].

Como resultado de estas investigaciones, se crearon numerosos materiales y sugerencias para modificar los métodos tradicionales. Entre los más destacados, se desarrollaron diversas simulaciones interactivas y experimentos orientados a la visualización de los fenómenos de la física cuántica. Estos avances permitieron la proliferación de conceptos e ideas de esta disciplina tanto en nivel medio como en cursos introductorios de la universidad.

Actualmente, continúa esta línea de investigación en diversos grupos del mundo como en Kansas, mediante el proyecto *Visual Quantum Mechanics*, Colorado, Brasil, Argentina entre otros. También se desarrollan actividades formadoras para docentes, como la realizada en la International Conference on Physics Education en el año 2014, denominada “*Workshop: Visual Quantum Mechanics - A Sample of Materials for Teaching Quantum Mechanics Through Interactive Engagement & Visualization*”, como así también los “*Physwares*” desarrollado en el ICTP[32].

2.2. Los Conocimientos de la Física Cuántica en el siglo XX

En el sistema Educativo de nuestro país, como en todos, siempre se encuentra en debate y continua actualización cuáles son los conocimientos básicos que debe adquirir un ciudadano en su formación. La Educación en Física no queda exenta de esta discusión, y también se replantea constantemente la selección de contenidos para cada contexto académico. En los últimos años, ha sido eje de análisis la inclusión de la física cuántica en la formación básica surgiendo diversas preguntas al respecto, la más destacada: ¿Debe incluirse como tópico en la formación básica de un ciudadano?. Tal como se mencionó anteriormente, la respuesta es sí y por dos motivos. Por un lado, el cambio en la cosmovisión que impulsa además una actividad cognitiva deseable. Por el otro, el desarrollo tecnológico que permitió esta disciplina que conviven en la vida cotidiana de las personas.

La Física tuvo avances revolucionarios en el siglo XX. De todos los descubrimientos que sacudieron los fundamentos de la ciencia durante este siglo, ninguno tuvo el impacto de la física cuántica, una revolucionaria forma de ver la naturaleza a pequeñas escalas. La teoría vaticinaba predicciones muy extrañas, algunas de las cuales fueron confirmadas con una precisión de una parte en 10 billones, haciéndola la más precisa en la historia de la ciencia. Esto condujo al desarrollo de dispositivos como el transistor, relojes de alta precisión, detectores ultra sensibles que cambiaron y continúan cambiando la vida del ser humano.

Sin embargo, lo más importante fue romper con las mayores convicciones de la humanidad acerca de la materia y la energía. En la cosmovisión de Newton, cualquier entidad de cualquier tamaño suponía contar con un conjunto de propiedades definidas e inambiguas, en cualquier momento en el tiempo. Pero en el mundo atómico, la mecánica cuántica abandona las ideas determinísticas. En esas dimensiones, los físicos encontraron que aparentemente, características específicas de las partículas, o incluso átomos y moléculas enteras, eran inherentemente desconocidas hasta el instante en que fueran medidas. Más aún, mediciones de ciertas magnitudes, mientras más precisas eran, aumentaban la incerteza en otra[25].

2.2.1. Los comienzos

La física cuántica no fue resultado de algunos pocos científicos. Esta avalancha de nuevas concepciones emergió gradualmente durante el primer cuarto del siglo XX, en el trabajo de más de una docena de físicos de diversos países.

Los primeros indicios comenzaron en el año 1900, cuando Planck determinó, mediante un supuesto totalmente eurístico, que los átomos de cuerpos calientes, en equilibrio termodinámico, radiaban energía sólo en cantidades específicas discretas. Años más tarde, en 1905, Einstein argumentó que la luz está cuantizada, es decir, compuesta por unidades separadas o fotones que tienen diferentes energías dependiendo de su frecuencia. Esto no desplazaba la idea, confirmada, que la luz era una onda, sino que por el contrario, mostraba que la radiación electromagnética tiene propiedades de partícula y de onda simultáneamente.

A comienzos de la década del 20, Louis de Broglie propuso una explicación acerca de por qué los átomos emiten luz en específicas cantidades. Enunció que todos los objetos tienen una longitud de onda asociada. Pensaba que los electrones, en particular, podían ocupar sólo algunas órbitas. Más aún, sólo las que correspondían con un múltiplo de la de menor energía: la fundamental. Él mostró que esta propiedad podría explicar por qué los electrones habitaban en órbitas específicas permitidas así como lo había descripto Neils Bohr en su modelo original de la estructura del átomo.

En el año 1926, dos laboratorios independientes lograron confirmar la naturaleza ondulatoria de la materia. Davisson & Germer por un lado, y G.P. Thomson por otro, obtuvieron patrones de interferencia a partir de haces de electrones. La evidencia experimental abría las puertas hacia más enigmas todavía. Si los electrones se comportaban como ondas, ¿qué características tenían esas ondas? y ¿existiría una forma de definir las y predecir su comportamiento? [25]

2.2.2. La Noción de Probabilidad

En caminos independientes, G. Heisenberg y E. Shrödinger se dispusieron a dar respuesta a esas preguntas a mediados de la década del 20. Ambos asumieron que los electrones dando vueltas alrededor del átomo cambian constantemente de estado, adquiriendo diferentes valores de energía potencial y cinética en cada una de las tres dimensiones. Estos valores, por supuesto, están limitados en un rango específico permitido.

Tanto Heisenberg como Shrödinger, arribaron a ecuaciones que producían valores correctos para la energía cuantizada de los electrones como se observaba en las líneas espectrales. Sin embargo, ninguno podía describir exactamente qué estaba haciendo el electrón. Shrödinger supuso originalmente que el electrón se encontraba de alguna manera esparcido en el espacio alrededor del átomo, mayoritariamente en la región donde su ecuación de onda generaba grandes valores. Pero el físico alemán Max Born propuso una interpretación conceptualmente diferente: la naturaleza ondulatoria de una partícula, describía la probabilidad de tener cierto grupo de características, como la posición, para cualquier tiempo.

Heisenberg además planteó, en el principio que lleva su nombre, que para ciertos pares de propiedades de las partículas como la posición y el momento o la energía en un determinado tiempo, el valor de una de las variables podía conocerse sólo a expensas de una correspondiente incerteza en la otra.

Estas ideas, tan expandidas como perfeccionadas por otros científicos en las décadas ulteriores, conllevó a una profunda revisión del concepto básico de la materia a pequeñas escalas. En contraposición con los preceptos Newtonianos, una partícula no tenía un conjunto definido de propiedades que, al menos teóricamente, pudieran conocerse. En su lugar, tenía un número de posibles estados inciertos hasta que el acto de medir forzara a la partícula a asumir uno particular. No fue nada simple la aceptación de esta visión en el ambiente científico[25].

2.2.3. Spin

Bohr había calculado las energías permitidas del electrón para el átomo de hidrógeno, bajo la propuesta de que estos sólo ocupaban órbitas que fueran múltiplos de una unidad de momento angular. El modelo explicaba y predecía con gran precisión ciertos fenómenos, pero tenía algunos puntos abiertos todavía. Presentaba dificultades para explicar los desplazamientos de las líneas espectrales en el efecto Zeeman. Pero más dificultoso resultaba explicar los resultados de experimentos que encontraron que algunas líneas espectrales estaban formadas por un número par de idénticas líneas cercanas.

Fueron Stern & Gerlach en el año 1922 que dieron respuesta con su experimento. Buscando demostrar la cuantización del momento angular, encontraron que aparentemente existía una propiedad intrínseca de las partículas que denominaron spin. Posiblemente una rotación en su eje, en el caso del electrón, producía un pequeño campo magnético en direcciones opuestas de acuerdo al sentido de giro, dando la posibilidad de sólo dos estados cuantizados posibles.

Sin embargo, existía un problema con esta idea. Para generar el cuanto magnético observado, el electrón debía girar a una velocidad mayor a la de la luz. Por lo tanto, los físicos abandonaron la idea de una rotación, a pesar de que claramente se comportaban como si lo hicieran. De la misma manera, comenzaron a pensar que estos tampoco se trasladaban alrededor del núcleo, incluso cuando su momento angular aparente podía ser cuantizado. Gradualmente creció la idea de que en el mundo cuántico los objetos tenían propiedades que no tenían un análogo en el mundo visible.

Por otra parte, en esos tiempos, crecieron abruptamente descripciones matemáticas sofisticadas que dieron lugar a predicciones más increíbles aún. En el año 1928, Paul Dirac trabajó con una formulación matemática que daba cuenta perfectamente de los efectos del spin del electrón. Más aún, Dirac investigó soluciones para valores de energía con signo negativo y predijo la existencia de la “antimateria”. Cuatro años más tarde, Carl Anderson detectó accidentalmente el anti-electrón, posteriormente llamado “positrón”[25].

En 1935, Einstein, Boris Podolsky y Nathan Rosen, plantearon la denominada paradoja ERP. No se pretende explicar en detalle la misma, pero sí destacar las premisas de *localidad* y *realismo* sobre las que fue fundada. Esta paradoja trajo numerosos esfuerzos en la comunidad científica para encontrar una teoría que pudiera describir la naturaleza microscópica bajo estas premisas, y llevó a sugerir la existencia de variables ocultas que completan la descripción de los fenómenos, pero sin alterar la predictibilidad que poseía la teoría cuántica.

Fue en 1964, cuando la situación cambió drásticamente tras la publicación de J. S. Bell, donde propuso una desigualdad que debe satisfacerse si la naturaleza responde a las premisas anteriores. Una violación de la desigualdad de Bell significa abandonar el realismo y la localidad como pilares fundamentales en el dominio cuántico. Los experimentos realizados hasta el día de hoy indican fuertemente la validez de esta posibilidad[29].

La Física Cuántica continuó creciendo, siendo foco de investigación principal en la comunidad científica hasta el día de hoy. En este recorrido por los primeros pasos de esta disciplina, se destacan los cambios conceptuales acerca de la materia y la energía respecto de las visiones anteriores. Es ahí donde yace el aspecto crucial de la física cuántica: las

numerosas y radicales ideas que se produjeron a lo largo del tiempo llevaron a concluir que, en el mundo microscópico, existían propiedades de la naturaleza diferentes y sin análogo a las del mundo clásico. Se produjo un radical cambio de cosmovisión que, como se ha mencionado, no sólo es importante en la enseñanza para definir el mundo que rodea al hombre sino también, corresponde con una actividad cognitiva deseada.

2.3. Propósitos y Usos de la Física Cuántica

Hasta aquí, hemos visto el desarrollo de las principales ideas de la cuántica. A finales de la década del 20, la teoría cuántica, más allá de sus ramificaciones, se encontraba asentada con firmeza. Es a partir del 30 cuando estas ideas comenzaron a reflejarse en desarrollo tecnológico. Como se ha mencionado anteriormente, esto es uno de los principales fundamentos de la enseñanza de esta disciplina en la formación básica. Veamos entonces como de estas ideas tan innovadoras, se llegó a productos que revolucionaron la vida del hombre.

2.3.1. Conducción en Sólidos

El paso principal estuvo en poder explicar las propiedades eléctricas microscópicas de los materiales, una parte crítica del nuevo campo del estado sólido o materia condensada. A comienzos de siglo XX, el descubrimiento del electrón fue una revelación momentánea, pero no produjo nuevos dispositivos eléctricos. Sin embargo, se estaba en condiciones de responder a ciertas preguntas como: ¿Cómo son conducidos los electrones en un metal? ¿qué hace a un material buen conductor?

Las primeras explicaciones surgieron de Paul Drude quien propuso que los electrones en un metal se comportaban como las partículas en un gas libre. En ausencia de voltaje los electrones se desplazaban libremente hasta colisionar con otro electrón o con algún átomo del arreglo de la red que compone el metal. Cuando se le aplica un voltaje, estos no siguen una dirección aleatoria sino que se desplazan alineados con el campo eléctrico. La multitud de electrones se mueve en este sentido con una velocidad reducida por las frecuentes colisiones con átomos. Este era el modelo de “flujo de corriente”.

El modelo funcionaba bien para explicar muchas propiedades de los metales, pero fracasaba en muchos otros fenómenos. Notablemente, no podía dar cuenta de la dependencia de la conductividad eléctrica con la temperatura, no por el hecho de que los metales perdían resistencia cuando se enfriaban, sino por los casos como el silicio que permitía un mejor flujo de corriente a medida que adquiría temperatura[25].

Con el advenimiento de la teoría cuántica y el principio de exclusión de Pauli, los físicos notaron que los electrones no podían ocupar cualquier estado de energía, como proponía el modelo de gas de electrones, sino sólo específicos estados cuantizados. En los intercambios de energía, estos no ocupaban un espectro continuo sino que llenaban aquellas posiciones permitidas por el principio de exclusión.

La cuántica también explicaba por qué 100 átomos de plata separados o juntos en un sólido cristalino tenían un comportamiento diferente en cada ocasión. En los sólidos, los átomos se encuentran tan próximos que los orbitales se superponen y se unen de manera

que comienzan a compartir electrones. Esta superposición genera posibles bandas continuas de energía.

Los electrones que se encuentran cerca de los núcleos están firmemente ligados a sus posiciones. Sin embargo, aquellos más exteriores pueden ocupar con mayor facilidad diferentes estados de energía y migrar de un lugar a otro dentro del sólido. Y así como un átomo tiene sólo algunos orbitales permitidos, los materiales masivos tienen rangos enteros de energía que están prohibidos y coinciden con los no permitidos por las reglas de cuantización y el principio de exclusión. Estos rangos de energía se denominan “gaps”.

Los gaps fueron descubiertos en primer lugar, por el alemán Strutt en 1928, y poco después Felix Bloch y su colega Rudolf Peierls usaron ideas similares para describir el comportamiento de electrones en metales. En 1931, Alan Wilson aplicó el concepto de gap de energía para explicar cómo los metales diferían de los aislantes y de los peculiares aislantes parciales denominados semiconductores.

De acuerdo con la teoría, los sólidos metálicos tenían una banda superior permitida para los electrones, denominada banda de valencia, que incluso no se encontraba completa. Así, cuando alguna perturbación ya sea campo eléctrico o agitación térmica, otorgaba energía a los electrones en el cristal, estos podían ocupar los estados vacíos de la banda de valencia sin violar, por supuesto, el principio de exclusión. Si hay un campo presente, la mayoría de esos electrones pueden fluir en la dirección dictada por el campo gracias a los estados disponibles. Las características cuánticas de los metales, permiten que los electrones de valencia circulen libremente a lo largo del cristal[25].

Aquellos materiales que contengan la cantidad suficiente de electrones para llenar la banda de valencia no pueden conducir electricidad, ya que no contienen estados desocupados. Estos materiales, denominados aislantes, tienen estados accesibles para los electrones más allá de la banda de valencia: el gap entre esta banda y la próxima permitida es lo suficientemente grande para no poder acceder a esos estados con energía térmica[5].

Wilson mostró que los semiconductores también poseen la banda de valencia completa. Sin embargo, poseen una banda de energía denominada banda de conducción y se encuentra a un pequeño gap de distancia. Así, una modesta cantidad de energía térmica puede causar que los electrones migren hacia esta banda permitiendo el flujo de corriente. Entre otras cosas, la estructura de bandas en los semiconductores explica por qué algunos materiales aumentan su conductividad eléctrica con la temperatura[25].

2.3.2. Materiales dopados

El avance, hasta ese entonces, en la comprensión de los fenómenos del estado sólido había sido grande. Gran parte de la comunidad de físicos continuaba sus trabajos en las propiedades eléctricas de los materiales. Se intuía que el desarrollo de tecnología tenía su clave en comprender y describir este tipo de fenómenos. Fue nuevamente Wilson, quien arribó a una idea crucial que impulsaría, años después, el desarrollo de un dispositivo electrónico revolucionario: el transistor.

Wilson conjeturó que la conductividad de los materiales debía verse modificada por la presencia de impurezas para los semiconductores. En el contexto de la teoría cuántica era razonable, ya que si se insertaba un átomo externo a un material puro de algún

semiconductor se alteraría el comportamiento de los electrones y, por consiguiente, la estructura de la banda colectiva del mismo.

A partir de esta idea, surgen los materiales dopados. Se trata de materiales puros en los que se ha incertado átomos de distinto tipo o “impurezas” con distinta configuración electrónica. De esta forma el exceso o defecto de electrones que producen estas impurezas, se traduce a un exceso o defecto (denominados huecos) de electrones en la banda de valencia que con una mínima perturbación externa alcanzan la banda de conducción. Estos materiales dopados, se denominan tipo-N si tienen exceso de electrones y tipo-P en el caso contrario. Tienen la particularidad que mientras mayor sea la cantidad de impurezas, mayor será la corriente que circulará en caso de que se aplique un voltaje, como así también la propiedad de generar dos tipos de corriente: la de electrones y la de huecos.

Mientras estas ideas continuaban emergiendo, existían diversos problemas prácticos en el campo de las telecomunicaciones. Ingenieros necesitaban mejorar muchos de los dispositivos que contaban. Uno era el rectificador usado para convertir una señal alterna de onda de radio en continua que pudiera manejar los parlantes. Por otro lado, se precisaba mejorar los amplificadores para impulsar las señales que perdían potencia al transmitirse a largas distancias.

Hasta ese entonces, la industria electrónica dependía de los tubos de vacío diodos y triodos para amplificar y rectificar. El problema yacía en que estos dispositivos se calentaban, sobretodo en altos regímenes, haciendo que el vacío se estropeará y los tubos se rompieran. En la década del 40, diversos investigadores, entre ellos los del Laboratorio Bell, se abocaron intensamente a buscar sustancias y procesos más resistentes[25].

2.3.3. Transistor

Los primeros trabajos se focalizaron en las juntas entre capas de diferentes materiales. Los experimentos mostraron que esas juntas podían funcionar como rectificadores ya que permitían flujo de corriente en una sola dirección. Como resultado se logró convertir la corriente alterna en continua con la posibilidad de prescindir de los tubos de vacío. A pesar de la aplicabilidad del fenómeno, todavía se desconocía qué sucedía en estas juntas.

En 1945, los Laboratorios Bell realizaron un mayor esfuerzo experimental, convencidos de que el futuro de las telecomunicaciones electrónicas yacían en dispositivos del estado sólido. Shockley, Bardeen y Brattain investigaron el problema. Probaron diversas combinaciones de juntas tipo-P y tipo-N con la expectativa de encontrar una configuración que permitiera regular un flujo de corriente entre dos electrodos. En particular, necesitaban un proceso por el cual un patrón de corriente débil, como una señal atenuada de radio por ejemplo, pudiera ser utilizada para variar la resistencia de la capa semiconductor media con sólo una pequeña cantidad de energía[25].

En principio los investigadores sabían que esto sería posible sin ningún dispositivo mecánico explotando las propiedades de los semiconductores dopados. Supongamos, por ejemplo, que se quisiera controlar el flujo de corriente entre dos piezas de semiconductor tipo-N, donde cada una está conectada a un electrodo en un circuito. (La pieza tipo-N con un excedente de electrones entrantes es denominada fuente, mientras que la otra pieza sumidero) Si la fuente y el sumidero están colocados en contacto directo, la corriente fluiría

fácilmente entre ambas piezas, complementando el circuito[5].

Si estas piezas son separadas por una capa de semiconductor tipo-P (denominada puerta), exactamente lo contrario va a suceder: no habrá flujo de corriente entre la juntura N-P. Esto es debido a que los electrones que ingresan a la puerta tipo-P, provenientes de la fuente, serán atrapados por los huecos y no continuarían hacia el sumidero. Pero si un pequeño electrodo se coloca en la puerta, podría funcionar como un interruptor. Una carga positiva en el electrodo, repelería los huecos de la puerta, apartándolos lo más posible. Con los huecos apartados, la corriente podría volver a circular hasta que el interruptor sea “apagado” y los huecos vuelvan a sus posiciones normales. Así, incluso una pequeña carga en la puerta puede controlar el movimiento de un gran flujo de corriente.

Finalmente, en 1947, el equipo Bell construyó el primer prototipo exitoso logrando amplificar una señal en un factor 18. Fue el primer amplificador de estado sólido y lo denominaron Transistor. El equipo continuó trabajando y creó variaciones prácticas como el transistor bipolar y el transistor efecto campo. Ambos también podían ser usados como interruptores eléctricos de alta velocidad y por eso, fueron ideales para las necesidades emergentes para los procesos de información digital[25].



Figura 2.1: Primer transistor. (Cortesía de Lucent Technologies Bell Labs, Murray Hill, New Jersey)

Los transistores se utilizaron en circuitos lógicos, es decir, circuitos que realizan una operación matemática concreta sobre una o más ordenaciones de tensiones. El desarrollo de combinaciones entre numerosos transistores llevó a la creación de complejos circuitos lógicos en espacios reducidos, denominados circuitos integrados. Los primeros circuitos integrados fueron fabricados a principios de la década del 60 y contenían menos de 10 transistores de alrededor de 1 cm de tamaño[25]. Con el advenimiento de la carrera espacial, se impulsó fuertemente el desarrollo de circuitos integrados más complejos.

El siguiente paso fue desarrollar técnicas de fabricación que permitieran aumentar la cantidad de transistores que se pudieran fabricar en cada circuito integrado. Resultó evidente que una miniaturización de los transistores permitía reducir el consumo y aumentar la velocidad de cálculo. Esto motivó una feroz competencia entre distintas empresas por desarrollar transistores cada vez más pequeños y circuitos integrados con un mayor número de transistores. Se invirtieron enormes esfuerzos y el resultado fue exitoso, ya que año tras año se lograron alcanzar nuevos récords de reducción de tamaño y de aumento del número

de transistores por chip. El grabado en silicio fue una de las claves en estos procesos[25]. En la actualidad, un procesador de una computadora, como el caso del Intel i7, contiene 731 millones de transistores[10].

2.3.4. Aplicaciones del Transistor

Tal como se mencionó antes, el transistor revolucionó la electrónica. El desarrollo de técnicas para reducir el tamaño de los transistores permitió la fabricación de dispositivos portátiles y accesibles. En la figura 2.2 se puede observar el primer prototipo de calculadora de mano del año 1966. Años después, todos los circuitos electrónicos cabrían dentro de la calculadora.

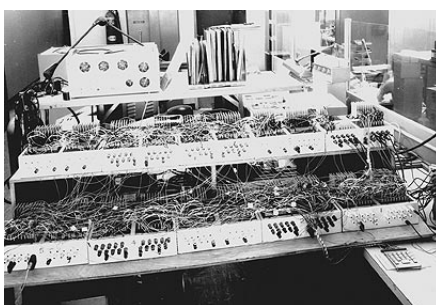


Figura 2.2: Primer prototipo de calculadora de mano, Texas Instruments 1966.

Los sistemas electrónicos se encuentran actualmente en todo tipo de productos, desde computadoras, televisores y diversos electrodomésticos, hasta afeitadoras, juguetes, sistemas de seguridad e incluso calzado deportivo. Además, es posible programar los circuitos que controlan estos productos directamente en lenguajes de programación de alto nivel, como por ejemplo, Lenguaje C.

En el área de las telecomunicaciones, la evolución de la electrónica implicó un aumento sustancial en la velocidad de transmisión de datos, y también en el desarrollo de teléfonos celulares pequeños que, a un bajo costo, integran receptores y transmisores multibanda con tecnología GSM, 3G, Bluetooth, WiFi, radio FM, receptor GPS, cámara de fotos, filmadora, agenda, juegos, entre otros.

En el área del control y automatización, la electrónica permitió el desarrollo de la robótica y una notable mejora de los procesos industriales. El automóvil moderno tiene cientos de sensores que se utilizan para el control de frenado, tracción o airbags, entre otros, que están conectados entre sí y con la computadora de a bordo mediante complejas redes de comunicaciones. También la electrónica es utilizada en edificios inteligentes, equipados con sistemas de control de luz, aire acondicionado, sensores de humo y gas, circuitos de audio y video, sistemas de control de acceso, entre otros.

En el campo de la medicina, los sistemas de diagnóstico por imágenes como la tomografía, la resonancia magnética y las ecografías 3D son sólo posibles debido al enorme avance de la electrónica, que permite el procesamiento en tiempos breves de enormes cantidades de información. La electrónica también está presente en la medición y procesamiento de señales biológicas en equipos tales como holters y marcapasos[5].

Como se puede observar, el transistor se encuentra en numerosos dispositivos tecnológicos que las personas utilizan en su vida cotidiana. Este dispositivo tuvo su origen en la física cuántica y es el resultado de una colección de investigaciones en la física del estado sólido y de grandes progresos en técnicas de ingeniería de producto.

2.3.5. Otras Aplicaciones de la Física Cuántica

El transistor no fue el único resultado tecnológico de la física cuántica, sino por el contrario, fue sólo una de las numerosas aplicaciones de esta disciplina.

El laser también se encuentra entre los principales desarrollos tecnológicos que impulsó la física cuántica. Provee el flujo de información de las comunicaciones mundiales vía fibra óptica. En altas energías, el haz de fotones logra calentar lo suficiente los materiales para romper las ligaduras atómicas. De esta forma, el laser es utilizado para un gran número de operaciones de corte y soldadura en la industria. A bajas energías, son utilizados para realizar diversos tipos de cirugías, en impresoras, y para medir la distancia de la Tierra a la Luna con una precisión de 15 m. El laser está en cada lector de código de barra, y extraen la música o los programas de información de cada CD. Hacen posible hologramas en tres dimensiones, líneas de agrimensores, mediciones de alta precisión de longitud, entre otros usos que emergen hasta el día de hoy[25].

La teoría cuántica aportó diversas explicaciones en el campo del magnetismo a pequeñas escalas. Producto de estos avances, se desarrollaron los sistemas de memorias y almacenamiento como los discos de computadoras, cabezales de grabación, sistemas de memoria de audio y video.

La física cuántica, lejos de ser una rama de la física puramente teórica y abstracta, tiene numerosas aplicaciones prácticas. Los dispositivos producidos son frutos de una colección de ideas e investigaciones correlacionadas que nacieron y crecieron en esta disciplina, y además, han permitido un desarrollo tecnológico tan revolucionario que cambió los hábitos del ser humano. Más aún, es posible concluir que cualquier ciudadano convive diariamente con aplicaciones resultantes de la cuántica.

Estas dos últimas secciones exponen dos metas de comprensión propuestas por el Instituto Nacional de Formación Docente para la formación de profesores en física contemporánea.

Dado que la EpC ilumina el Proyecto de Mejora, tiene sentido elegirla como marco teórico. En el siguiente capítulo se describen algunos lineamientos generales de la misma.

Capítulo 3

Enseñanza para la Comprensión

Es una verdad de Perogrullo que la enseñanza ha sido uno de los temas recurrentes en el desarrollo humano. Las primeras referencias datan del comienzo de la Edad antigua con las culturas indias, china, egipcia y hebrea. Desde entonces se comprende que el hecho educativo debe ser ubicado en su contexto histórico, religioso y cultural. Sin embargo recién a partir de los 60, cuando se comprende que los humanos construimos conocimiento de manera idiosincrática, la noción de hecho educativo viene realmente transformada.

Alrededor de los 90 Novak propone para el hecho educativo un interjuego de cinco elementos: el que aprende, el que enseña, qué se enseñacategorías, el contexto y la evaluación. Y propone que el aprendizaje significativo es la integración constructiva entre pensamientos, sentimientos y acciones entre el que enseña y el que aprende.

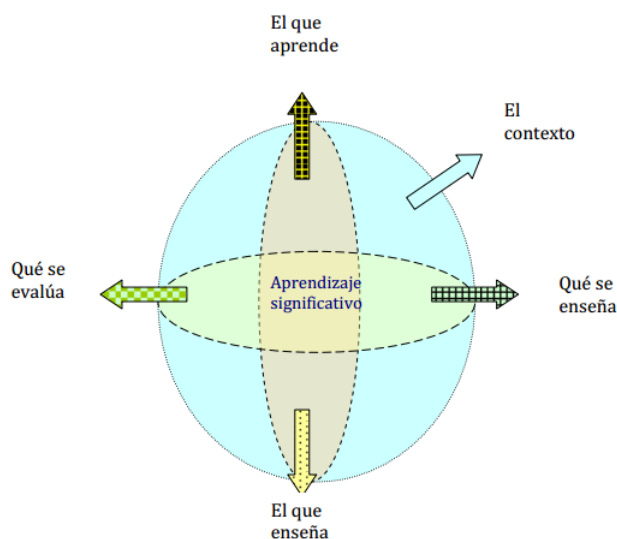


Figura 3.1: Aprendizaje significativo como resultado de la interacción constructiva de pensamientos, sentimientos y acciones del que enseña y el que aprende.[19]

Como en otras áreas de conocimiento, el avance de las investigaciones a la vez que ilumina, también permite comprender la complejidad del hecho educativo. O sea, queda claro que cualquier intento reduccionista de analizar partes del hecho educativo debe tomarse sólo en términos analíticos.

De las distintas vertientes cognitivas, en las que hoy se acepta sin discutir la construcción de los conocimientos por parte del que aprende, la importancia de la cultura, la relevancia de los conocimientos previos y la complejidad del mundo, se desarrolla una teoría cuyo concepto clave es la *comprensión*. Esta es la teoría que subyace en el Proyecto de Mejora de la Formación Docente Inicial. La misma, asume una definición de comprensión basada en desempeños, lo que a su vez tiene correlato con las maneras en que responden diferentes sujetos cuando comprenden diferentes disciplinas. La actualidad y la pertinencia, en términos de ser un marco aceptado en documentos oficiales, son algunas de las razones por lo que la Teoría de Enseñanza para la Comprensión se presenta como un marco fructífero que permita una descripción preliminar.

La enseñanza en general, y en particular en los profesorados, se orienta a favorecer la comprensión. Pero, ¿qué es comprender?, ¿qué cualidades presenta alguien que “comprende”?, ¿qué diferencias existen entre la comprensión de expertos y principiantes?. Estos y muchos otros interrogantes surgen en este campo. Desde la EpC se da respuesta a estas cuestiones, que permitirán nutrirse de un marco teórico en vistas de describir algunas características de la enseñanza, en este caso, de la Física Cuántica en una institución universitaria.

3.1. ¿Qué es Comprender?

En el marco de la Teoría de la Enseñanza para la Comprensión (EpC), David Perkins plantea que comprender va más allá del conocimiento y las habilidades, es decir, de la información y desempeños rutinarios a mano. En particular, define a la comprensión como la habilidad de pensar y actuar con flexibilidad a partir de lo que uno sabe. En otras palabras, comprender es la capacidad de “desempeño de flexible” con énfasis en la flexibilidad.

Entre las formas de reconocer la comprensión, existen ideas que surgen naturalmente. Por un lado, para apreciar la comprensión de una persona en un momento determinado, basta con pedir que haga algo que ponga su comprensión en juego, explicando, resolviendo un problema, contruyendo un argumento, armando un producto. Por otro lado, aquellos que responden no sólo demuestran su nivel de comprensión actual sino que lo más probable es que los haga avanzar.

La idea de que la comprensión se reconoce por medio de un desempeño, aparece como fruto de una variedad de investigaciones sobre la cognición humana, en donde se observa que se presenta cuando un individuo puede pensar y actuar con flexibilidad frente a lo que sabe. Por lo tanto, la comprensión se reconoce por medio de un criterio de desempeño flexible.

Es importante notar que los desempeños de comprensión son actividades que van más allá de la memorización y la rutina, que implican niveles y que el tipo de desempeño como índice de comprensión varía con el campo y el contexto. Esto es, cierta actividad que para

una persona es un desempeño de comprensión, para otra o para la misma en otro contexto, puede resultar transparente o rutinaria[28].

3.2. Marco Conceptual de la Comprensión

Teniendo la comprensión como meta, y conociendo el rol de la enseñanza de alcanzar la misma, resulta natural preguntarse acerca de las cualidades que presenta la comprensión de una persona. Es decir, se requiere definir de manera más detallada qué es comprender dentro de cada disciplina y de manera transversal a todas ellas.

El proyecto EpC ha desarrollado un marco conceptual de Comprensión para evaluar y orientar el acto de comprender. Este marco, desarrollado en un proyecto de investigación en el Proyecto Cero a comienzos de los años 90, enlaza lo que David Perkins ha llamado los "cuatro pilares de la pedagogía" con cuatro elementos de planeación e instrucción: Tópicos Generativos, Metas de Comprensión, Desempeños de Comprensión y Valoración Continua.

- **Tópicos Generativos:** Estos tópicos de exploración tienen múltiples conexiones con los intereses y experiencias de los estudiantes y pueden ser aprendidos en diferentes formas. Estos tópicos son fundamentales para la disciplina, ya que comprometen tanto a estudiantes como a maestros y se fundan en tópicos anteriores.
- **Metas de Comprensión:** Las afirmaciones o preguntas que expresan aquello que es más importante para los estudiantes durante el período de una unidad, o un curso (Metas de Comprensión), o durante un período de larga duración, como por ejemplo un año escolar (Hilos Conductores).
- **Desempeños de Comprensión:** Son las actividades que desarrollan y demuestran la comprensión de los estudiantes acerca de la comprensión de metas haciendo que los estudiantes utilicen lo que ya conocen en formas diferentes.
- **Valoración Continua:** Es el proceso por el cual los estudiantes obtienen retroalimentación continua sobre sus Desempeños de Comprensión con el fin de mejorarlos.

Así también, este marco incluye cuatro dimensiones y niveles de comprensión que pueden discernirse en los *desempeños* de los alumnos.

Teniendo en cuenta que la noción de comprensión supone la habilidad para pensar y actuar con flexibilidad, se entiende que los desempeños de comprensión tengan una importancia decisiva en la planificación de la enseñanza.

3.2.1. Dimensiones de la Comprensión

Las experiencias de sujetos expertos en áreas disciplinares o al menos sujetos con actuaciones flexibles, ponen de manifiesto que la comprensión se evidencia en, al menos, cuatro dimensiones. Asimismo, si se interroga a sujetos con desempeños flexibles estos manifiestan con claridad que la comprensión profunda es un proceso que atraviesa diferentes niveles.

La comprensión se inicia cuando se empiezan a abandonar posiciones ingenuas y se va profundizando a medida que se pueden generar abstracciones.

Para describir sistemáticamente las cualidades de la comprensión -en formas que sean a la vez respetuosas de la especificidad disciplinaria y válidas en diferentes dominios- el marco Conceptual de Comprensión destaca cuatro dimensiones: conocimiento, métodos, propósitos y forma de comunicación. Dentro de cada dimensión, el marco describe cuatro niveles de comprensión: ingenua, de principiante, de aprendiz y de maestría.

Conocimiento

La dimensión del conocimiento evalúa el nivel hasta el cual los alumnos han trascendido las perspectivas intuitivas o no escolarizadas y el grado hasta el cual pueden moverse con flexibilidad entre ejemplos y generalizaciones en una red conceptual coherente y rica. Se trata de refinar, transformar o reemplazar estas intuiciones iniciales previas que un alumno tiene.

Métodos

La dimensión de los métodos evalúa la capacidad de los alumnos para mantener un sano escepticismo acerca de lo que conocen o lo que se les dice, así como su uso de métodos confiables para construir y validar afirmaciones y trabajos verdaderos, moralmente aceptables o valiosos desde el punto de vista estético.

Propósitos

La dimensión de propósitos se basa en la convicción de que el conocimiento es una herramienta para explicar, reinterpretar y operar en el mundo. Esta dimensión evalúa la capacidad de los alumnos para reconocer los propósitos e intereses que orientan la construcción del conocimiento, su capacidad para usar el conocimiento en múltiples situaciones y las consecuencias de hacerlo.

La dimensión de propósito de la comprensión refleja la necesidad de desarrollar conexiones reflexivas y personales con el conocimiento a mano. Los aprendices que tienen una comprensión profunda al respecto muestran una conexión personal con el conocimiento. Ellos se comportan en forma reflexiva con un agudo sentido de propósito. Ellos saben por qué este conocimiento es relevante en la vida, en el tópico y en otros tópicos. El propósito muestra qué tan integrado está el conocimiento con la persona.

Comunicación

La dimensión comunicación evalúa el uso de sistemas de símbolos (visuales, verbales, matemáticos y cinestésicos corporales, por ejemplo) para expresar lo que se sabe. Se destaca la capacidad para considerar la audiencia y el contexto como fuerzas configuradoras en los desempeños.

Las cuatro dimensiones ilustran la naturaleza multidimensional de la comprensión. Mientras en algunas dimensiones puede ser más prominentes que otras en desempeños

específicos, la comprensión profunda entraña la capacidad de usar el conocimiento en todas las dimensiones.

3.2.2. Niveles de Comprensión

Dado que la profundidad de la comprensión puede variar dentro de cada dimensión, es necesario distinguir desempeños débiles de otros más avanzados. Considerando esta meta, el proyecto EpC, distingue cuatro niveles prototípicos de la comprensión por dimensión: ingenua, de principiante, de aprendiz y de maestría.

Los desempeños de comprensión ingenua están basados en el conocimiento intuitivo. Describen la construcción del conocimiento como proceso no problemático que consiste en captar información que está directamente disponible en el mundo. En este nivel, un alumno no distingue entre lo que aprende en la escuela y su vida cotidiana, no considera el propósito y los usos de la construcción del conocimiento, como así tampoco presenta señales de dominio ni de reflexiones para comunicar a otros.

Los desempeños de comprensión de novatos están predominantemente basados en los rituales y mecanismos de prueba y escolarización. Estos desempeños empiezan destacando algunos conceptos o ideas disciplinarias y estableciendo simples conexiones entre ellas, a menudo ensayadas. La convalidación de procedimientos de construcción de conocimiento depende más de la autoridad externa que de criterios racionalmente consensuados desarrollados dentro de la disciplina.

Los desempeños de comprensión de aprendiz están basados en conocimientos y modos de pensar disciplinarios. Demuestran un uso flexible de conceptos o ideas de la disciplina. La construcción del conocimiento se ve como una tarea compleja, que sigue procedimientos y criterios que son prototípicamente usados por experimentos en el dominio. Los desempeños en este nivel iluminan la relación entre conocimiento disciplinario y vida cotidiana, examinando las oportunidades y las consecuencias de usar este conocimiento. Además, demuestran una expresión y comunicación de conocimiento flexible y adecuada.

Finalmente, los desempeños de comprensión de maestría son predominantemente integradores, creativos y críticos. En este nivel, se caracteriza la capacidad de moverse con flexibilidad entre dimensiones, vinculando los criterios por los cuales se construye y se convalida el conocimiento en una disciplina con la naturaleza de su objeto de estudio o los propósitos de la investigación en el dominio. Estos desempeños reflejan conciencia crítica acerca de la construcción del conocimiento[28].

Capítulo 4

Materiales y Métodos

La enseñanza de una disciplina presenta una multiplicidad de planos de análisis. La caracterización que se realiza se basa en documentos escritos, como el plan de estudios, los programas, exámenes y guías de trabajos prácticos. No se trata de una decisión arbitraria, sino fundamentada en el marco de la Enseñanza para la Comprensión donde los aspectos centrales de la misma se sitúan en los desempeños. Se considera que los documentos anteriormente mencionados corresponden con desempeños centrales impulsados por los docentes.

Se trabaja dentro de la jurisdicción de la Provincia de Córdoba que cuenta con tres instituciones formadoras de profesores de Física: dos de nivel universitario (una ubicada en la ciudad de Córdoba y otra en el interior de la provincia) y una de nivel superior no universitario. En las siguientes subsecciones se detallan las características del análisis en cada unidad académica.

4.1. Análisis de Documentos Oficiales: Plan de Estudios - Programa

El análisis de Documentos Oficiales consiste en estudiar la distribución de contenidos y su respectiva carga horaria a lo largo de la formación de los profesores, especialmente aquellos abocados a la física cuántica. Por Resolución Ministerial, los distintos planes de estudio, cualquiera sea la especialidad o modalidad en que forman, deberán organizarse en torno a tres campos básicos de conocimiento:

- *Formación general:* dirigida a desarrollar una sólida formación humanística y al dominio de los marcos conceptuales, interpretativos y valorativos para el análisis y comprensión de la cultura, el tiempo y contexto histórico, la educación, la enseñanza, el aprendizaje, y a la formación del juicio profesional para la actuación en contextos socio- culturales diferentes.
- *Formación específica:* dirigida al estudio de la/s disciplina/s específicas para la enseñanza en la especialidad en que se forma, la didáctica y las tecnologías educativas particulares, así como de las características y necesidades de los alumnos a nivel

individual y colectivo, en el nivel del sistema educativo, especialidad o modalidad educativa para la que se forma.

- *Formación en la práctica profesional:* orientada al aprendizaje de las capacidades para la actuación docente en las instituciones educativas y en las aulas, a través de la participación e incorporación progresiva en distintos contextos socio-educativos.

El estudio se realiza considerando los diferentes campos de conocimiento a los que se orientan los cursos que componen el plan de estudios. Se profundiza el análisis en el campo de formación específica observando de manera preliminar el lugar que ocupa la física cuántica en la formación, y seleccionando los cursos que se investigarán en profundidad.

4.2. Categorización de Desempeños de Comprensión

En el marco de la EpC, la comprensión está ligada a los desempeños flexibles y por lo tanto la enseñanza se orienta o debería orientarse al desarrollo de desempeños. Uno de los principales desempeños que se desarrollan en las clases es la resolución de problemas. Por tal motivo, es de esperar que sea un indicador representativo a la hora de caracterizar la enseñanza de la física cuántica.

Este desempeño no sólo se utiliza en el desarrollo de las clases, sino que también en instancia de evaluación. Es importante destacar que, en la propuesta del curso, se menciona la existencia del régimen de promoción bajo la condición de un puntaje mínimo en evaluaciones parciales escritas. Esto induce a pensar que la resolución de problemas es el principal desempeño de comprensión en el caso.

En busca de definir características de la enseñanza y dada la relevancia de la resolución de problemas, se analizan cualidades de este desempeño de comprensión. Para ello se procede a estudiarlos y categorizarlos. La categorización de los problemas de las guías y los parciales se realiza en base a las dimensiones de la comprensión que plantean Boix Mansilla & Gardner[28]. Como se ha mencionado, existen cuatro dimensiones de la comprensión: contenidos, metodológico, propósitos y usos y comunicación. Esta última dimensión, queda fuera del rango de análisis ya que alude a instancias orales, las cuales no son posibles acceder en este trabajo. De esta forma, se buscan identificar las cualidades de la comprensión en los desempeños. A continuación se exponen las características de las dimensiones asociadas a problemas de física.

Características de los Problemas en cada Dimensión

- **Dimensión Conocimientos:** se trata de aquellos problemas que apuntan prioritariamente a refinar, transformar o romper con alguna creencia intuitiva o previa que una persona tiene antes de enfrentarse al mismo. Así también, apuntan a desplazarse flexiblemente en los conceptos, aplicándolos en situaciones y decisiones.
- **Dimensión Métodos:** se trata de aquellos problemas que se orientan a validar conocimiento mediante métodos o técnicas confiables para construir afirmaciones. En el caso

particular de la Física, enmarca aquellos relacionados con el formalismo matemático y/o problemas reducidos a la implementación de ecuaciones.

- **Dimensión Propósitos:** son aquellos problemas orientados principalmente a reconocer los fines y usos que guían la construcción del conocimiento, como así también las aplicaciones derivadas. Apuntan a reconocer el conocimiento como un herramienta para operar en el mundo.

Metodología para categorizar

Para realizar la categorización se tienen en cuenta aspectos centrales de la Teoría de la Enseñanza para la Comprensión.

Lo primero a destacar es que se pretende analizar si las actividades presentadas a los alumnos tienen alguna/s de las características que la teoría prevé para Desempeños de Comprensión. Para cada una de las actividades propuestas se busca identificar cuál/cuáles de las Dimensiones del Conocimiento (expresadas ut-supra) predominan en la actividad. Con el resultado del análisis se sistematiza en tablas, como se muestra en las figuras 1, 2 y 3.

Conocimientos	1. Refina o transforma alguna creencia previa o intuitiva.
	2. Exige un desplazamiento flexible en el/los concepto/s.

Figura 4.1: Tabla dimensión Conocimientos .

Métodos	1. Valida conocimiento, ya sea una afirmación o una expresión matemática.
	2. Requiere un análisis prioritariamente matemático.

Figura 4.2: Tabla dimensión Métodos.

Propósitos	1. Reconoce algún/algunos usos y aplicaciones del conocimiento.
------------	---

Figura 4.3: Tabla dimensión Propósitos.

El procedimiento consiste en seleccionar, para cada problema, cuál/les cualidades de las distintas dimensiones están involucradas en la resolución del problema. Un problema puede aplicar a una o más características de cada dimensión, como así también a características de dimensiones distintas.

Con el análisis se confecciona una tabla como la que se muestra en la figura 4.1. Las categorías son cuatro: C (si aplica sólo en contenidos), M (si lo hace sólo en métodos), CM (si aplica en ambas) y CMP (si lo hace en propósitos).

Prob./Dim.	c1	c2	m1	m2	p1	Categoría
1						
2a						
2b						
3						
4						

Cuadro 4.1: Categorización de problemas de guía N°1.

Notar que cada inciso de problema categoriza de manera independiente.

Se presenta un análisis a modo de ejemplo:

Ejemplo

Supongamos un ejemplo como el siguiente problema (extraído de una de las guías):

1. *¿Un cuerpo negro siempre se ve negro? Explique.*

Se aplica la tabla de categorización para este problema teniendo en cuenta los cuadros de las dimensiones como se mencionó anteriormente.

Prob./Dim.	c1	c2	m1	m2	p1	Categoría
1	I	I				C

Cuadro 4.2: Categorización de problema 1.

Veamos un ejemplo de un problema que pertenezca a otra categoría, como el siguiente:

2. *Calcule el valor de expectativa de x y p en función del tiempo.*

En el caso de este problema, presenta cualidades del tipo metodológico, ya que aplica al uso de formalismo matemático preferentemente.

Prob./Dim.	c1	c2	m1	m2	p1	Categoría
2				I		M

Cuadro 4.3: Categorización de problema 2.

Un ejemplo de un problema en la categoría CM sería el siguiente:

3. *Demuestre la validez de la siguiente proposición: Para una cavidad isotérmica el flujo de radiación es igual en todas las direcciones.*

El caso del problema 3 presenta cualidades de dos dimensiones diferentes. El esquema de categorización se muestra en el cuadro 4.4.

Prob./Dim.	c1	c2	m1	m2	p1	Categoría
3		I	I			CM

Cuadro 4.4: Categorización de problema 2.

Capítulo 5

Resultados

Como se menciona en el capítulo anterior, se realizan dos análisis: por un lado, en la primer sección, se estudian los planes de estudios y programas de las instituciones en cuestión, y por el otro, en la segunda sección se estudian cualidades de la enseñanza desde el análisis de desempeños propuestos en los cursos afines de los profesorados.

5.1. Resultados de Análisis de Plan de Estudios y Programa

Tras el análisis de los planes de estudios de las tres unidades académicas en cuestión (ver anexo), se estudia la distribución de carga horaria para los campos de conocimiento, con énfasis en la formación específica, en particular, en física.

En el caso de la universidad nacional ubicada en Río Cuarto, la distribución de materias del plan de estudios de acuerdo a las áreas indica un predominio de cursos abocados a la formación específica por sobre la formación general y la práctica profesional (ver figura 5.1).

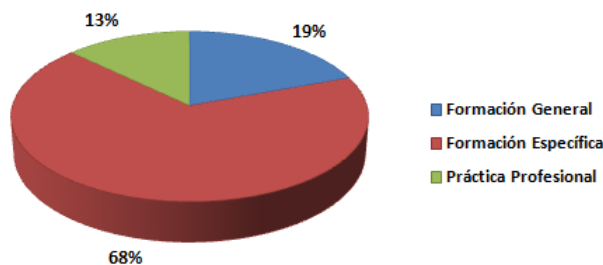


Figura 5.1: Distribución de materias en los diferentes campos en UNRC.

La formación específica incluye tanto la formación en la disciplina (el área y cursos

complementarios) como la didáctica. Los cursos en este campo están destinados mayoritariamente a física, con porcentajes distribuidos de manera equitativa entre matemática, didáctica y otros cursos complementarios, tal como muestra la figura 5.2.

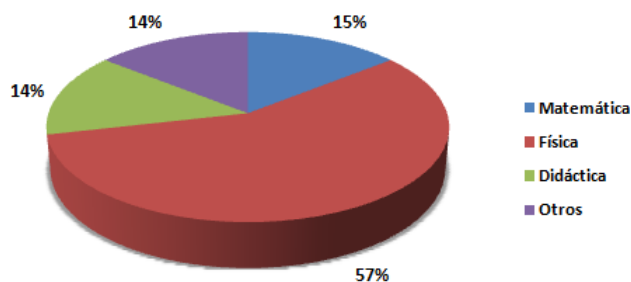


Figura 5.2: Distribución de materias de Formación Específica en UNRC.

De los cursos orientados a física, se observa que prevalecen aquellos dedicados al tratado de contenidos correspondientes a la física clásica por sobre la física cuántica. De los cursos de física, se destinan 11 a física clásica y sólo uno a física moderna en general. En la figura 5.3, se puede observar la distribución relativa.

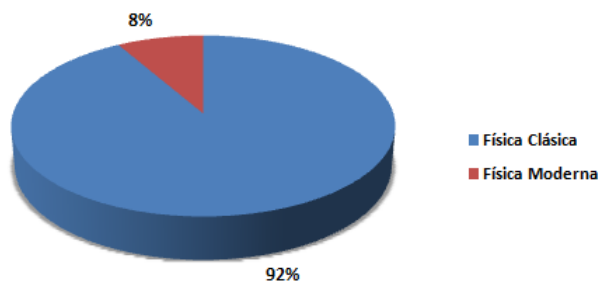


Figura 5.3: Distribución de materias de Física en UNRC.

Se encuentra con que existe sólo un curso destinado a la formación de esta última disciplina en todo el plan de estudios. En la figura 5.4 se puede observar el porcentaje que representa este curso frente al plan de estudios en su totalidad.

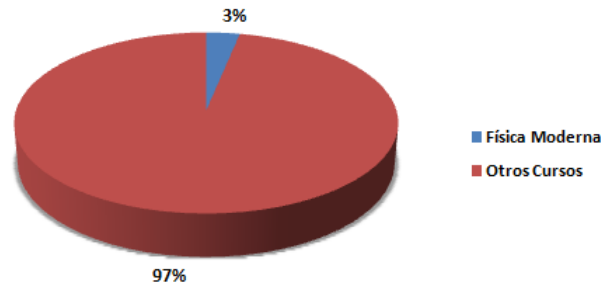


Figura 5.4: Distribución de materias de Física Cuántica en UNRC.

El instituto de educación superior no universitario presenta características similares en cuanto a la distribución en los campos de conocimiento. Existe un predominio en formación específica por sobre los otros tal como muestra la figura 5.5.

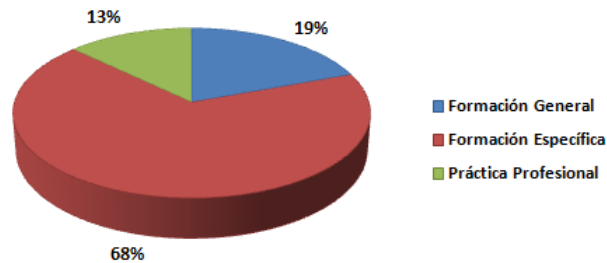


Figura 5.5: Distribución de materias en los diferentes campos en Instituto de Educación Superior.

Dentro de la formación específica, la mitad de la carga horaria se destina a física, mientras que la mitad restante se distribuye entre didáctica, matemática y otros cursos tal como se muestra en la figura 5.6.

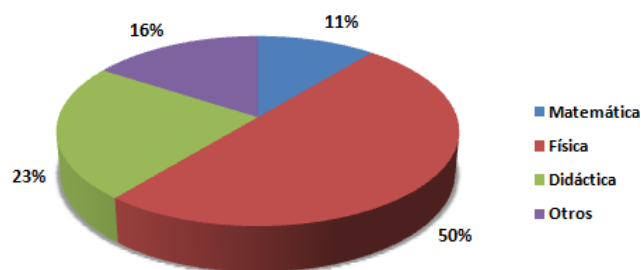


Figura 5.6: Distribución de materias de Formación Específica en Instituto de Educación Superior.

Con respecto a los cursos dedicados a física en particular, sólo uno se orienta a la física moderna. La mayoría de ellos, se destinan a la formación de los alumnos en física clásica (figura 5.7).

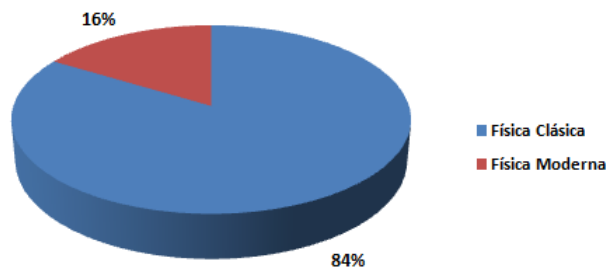


Figura 5.7: Distribución de materias de Física en Instituto de Educación Superior.

En la figura 5.8, se puede apreciar el tiempo destinado a la enseñanza de tópicos de física cuántica respecto al total de horas con las que cuenta el plan de estudios.

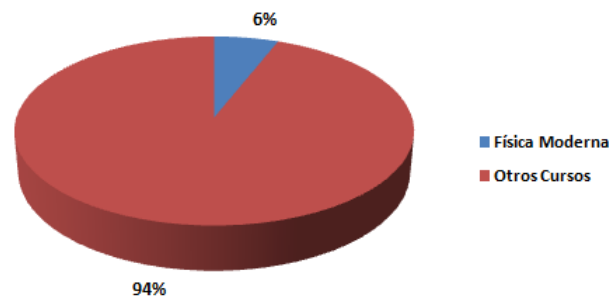


Figura 5.8: Distribución de materias de Física Cuántica en Instituto de Educación Superior.

Finalmente, en el caso de la universidad situada en la ciudad de Córdoba, existe un predominio más acentuado en lo que respecta a formación específica, en comparación con las otras unidades académicas como muestra la figura 5.9.

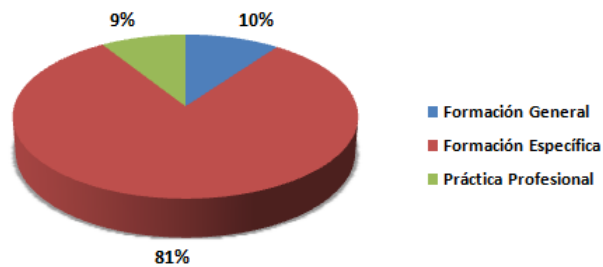


Figura 5.9: Distribución de materias en los diferentes campos en Universidad de Capital.

La distribución de la formación específica es similar a las demás instituciones en Física. Por otro lado, es notablemente mayor la carga horaria destinada a cursos de matemática (ver figura 5.10). Se identifican un total de 720 horas de esta última, sobre un total de 2694 horas que dispone el plan de estudios.

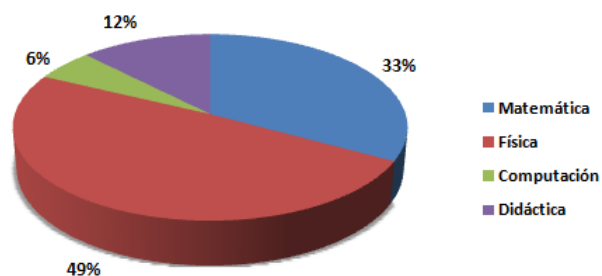


Figura 5.10: Distribución de materias de Formación Específica en Universidad de Capital.

Al igual que las demás unidades académicas, la universidad cuenta con un curso destinado a la formación de los alumnos en física moderna.

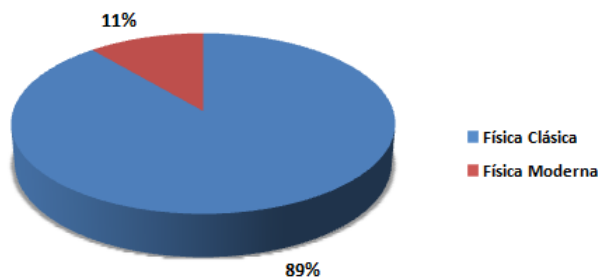


Figura 5.11: Distribución de materias de Física en Universidad de Capital.

Como se observa en la figura 5.12, la física moderna representa alrededor del 4% de la carga horaria total del plan de estudios. Este valor corresponde a 120 horas de dedicación sobre un total de 2694 horas.

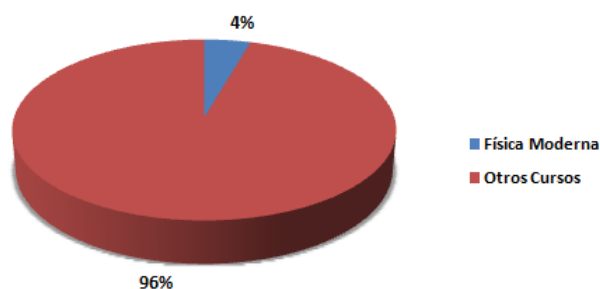


Figura 5.12: Distribución de materias de Física Cuántica en Universidad de Capital.

En todas las unidades académicas se observa un predominio de formación específica. Notablemente, se caracterizan por no contar con más de un curso dedicado a la enseñanza de física moderna. De esta manera, es posible inferir que se destina un curso o incluso menos a la física cuántica.

Tras identificar los cursos abocados a Física Cuántica, se procede a analizar las características de la enseñanza en cada unidad. No es posible obtener información de documentos escritos tanto en el instituto no universitario como en la universidad del interior. Por lo tanto, la única unidad académica en análisis es universidad ubicada en la capital de la provincia. En particular, el trabajo descriptivo se realiza en el único curso dedicado a la disciplina en cuestión (según lo analizado en los programas).

5.2. Categorización de Desempeños de Comprensión

Con la metodología propuesta en el capítulo 5, se categorizan los desempeños (en este caso resolución de problemas) propuestos tanto en guías de trabajo práctico como en exámenes parciales.

5.2.1. Guías de Resolución de Problemas

En total se categorizaron 88 problemas correspondientes a las 7 guías de problemas que el curso propone (ver Anexo). El gráfico de la figura 5.13 y la tabla 5.1 muestran la distribución de los problemas en las diferentes categorías.

Categoría	Conocimientos	C-M	Metodológicos	CMP
Frecuencia (%)	10	18	71	1

Cuadro 5.1: Tabla de Resultados de Categorización.

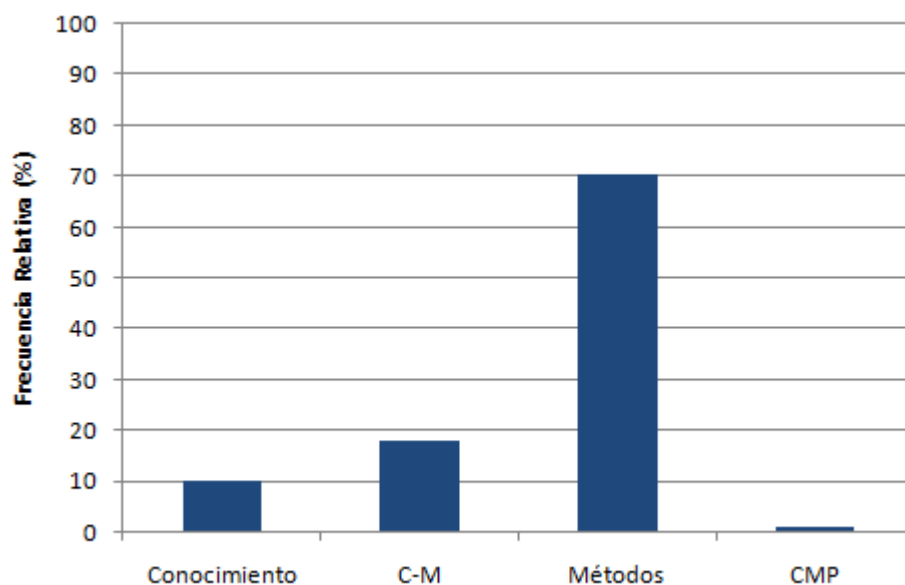


Figura 5.13: Gráfico de categorización de problemas de guías prácticas.

Se observa una fuerte tendencia hacia desempeños de tipo metodológico. En menor medida se encuentran problemas que comparten características metodológicas y de conocimiento. Es bajo el porcentaje de problemas que categorizan en la dimensión contenido, mientras que no se han encontrado problemas que atiendan a los propósitos y usos de los tópicos en cuestión.

El resultado discrepa de lo que, en principio, se esperaría como característica de la enseñanza de un curso. Es posible pensar, que la tendencia debería inclinarse a un equilibrio entre las categorías, indicando que los desempeños apuntan a abarcar todas las dimensiones de la comprensión.

5.2.2. Exámenes Parciales

Del mismo modo que las guías, se categorizaron los problemas de los exámenes parciales (ver Anexo). Cabe destacar que la resolución parcial de los mismos es un requisito suficiente para aprobar el curso. Este desempeño, al tener carácter evaluativo, refleja además metas de comprensión propuestas por el profesor. La tabla 5.2 y el gráfico 5.14 exponen los resultados de la categorización de los 20 problemas.

Categoría	Conocimientos	C-M	Metodológicos	CMP
Frecuencia (%)	15	15	70	0

Cuadro 5.2: Tabla de Resultados de Categorización Exámenes.

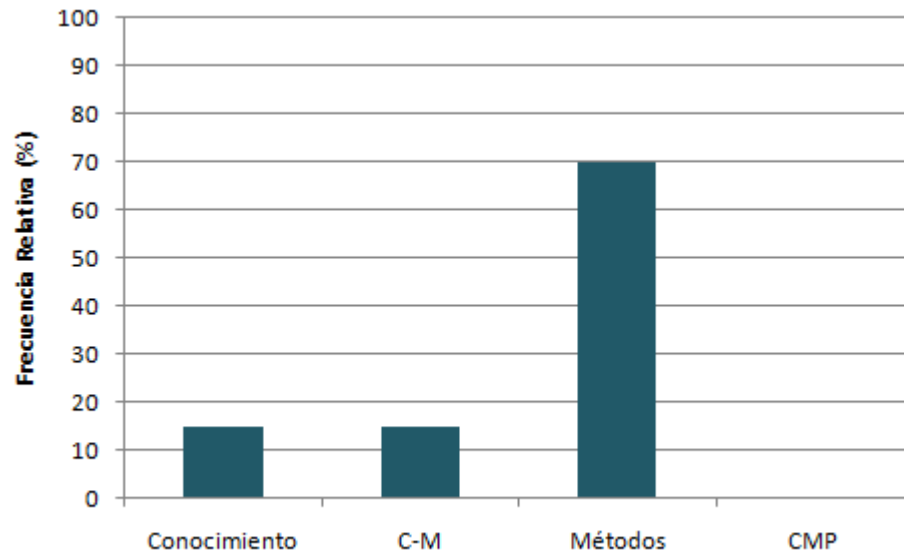


Figura 5.14: Gráfico resultado de categorización exámenes.

5.2.3. Validación de Categorización

Con el objetivo de validar la categorización realizada de los desempeños, se realiza un estudio de validación. El procedimiento consiste en tomar una muestra de los problemas y categorizarlos por un observador diferente. Posterior a eso, se analiza la concordancia entre observadores.

Se diseña una muestra probabilística estratificada dado que se cuentan con diferentes guías, correspondientes a diferentes estratos de la población total de problemas. Lo que se hace es seleccionar una muestra para cada subpoblación que, en este caso, es cada guía de problemas.

Conociendo el tamaño de la población, es posible determinar el tamaño de la muestra a través de la expresión:

$$n = \frac{N \cdot Z_a^2 \cdot q \cdot p}{d^2 \cdot (N - 1) + Z_a^2 \cdot q \cdot p} \quad (5.1)$$

donde N es el tamaño de la población, Z_a el nivel de confianza, p la probabilidad de éxito, q la probabilidad de fracaso y d el error admisible. La misma se calcula en base a una muestra de 88 problemas, con un nivel de confianza del 95% y un error admisible del 5%. El desconocimiento de la proporción esperada implica maximizar el tamaño de la muestra utilizando el valor $p = 0,5$ [26].

De (1) se obtiene un valor $n = 74$. Contando con el tamaño de la muestra, se procede a determinar el tamaño de la muestra para cada estrato. Se define la fracción de estrato fh de la siguiente manera:

$$fh = \frac{n}{N} \quad (5.2)$$

Para este caso particular, $fh = 0,84$. El total de cada subpoblación se multiplicará por este valor con el fin de obtener el tamaño de muestra para cada estrato [24].

Una vez determinado el tamaño de la muestra de cada guía de problemas, se distribuyen los mismos entre tres categorizadores diferentes, con experiencia y desempeño en el área de Física. A cada uno se le asignó aleatoriamente guías de prácticos, un cierto número de problemas que debían categorizar (calculado mediante (2)) y un instructivo explicativo de los criterios para realizar la categorización.

De esta forma, cada uno de los observadores completó una tabla de la misma forma que la explicada en el capítulo 5 (ver anexo). Posteriormente los resultados de estas categorizaciones se comparan con la realizada inicialmente con el fin de estudiar el nivel de concordancia entre la medición y la categorización realizada por los tres observadores.

Para el categorizador 1, la distribución obtenida presenta un acuerdo del 64 % en comparación con la obtenida en la medición. En la figura 5.15 se exponen ambas distribuciones, donde se observa un predominio de las categorías CM y M.

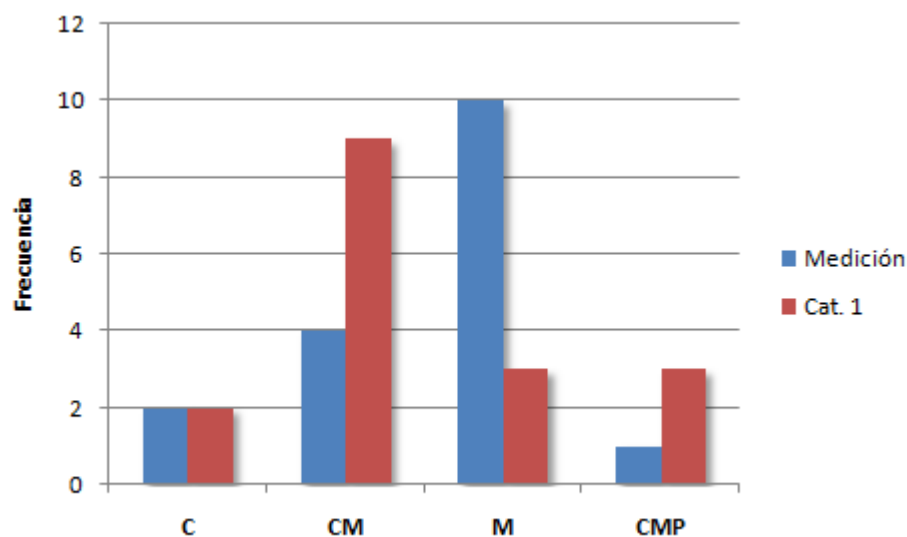


Figura 5.15: Distribuciones de medición y categorizador 1 de guías 1 y 2.

El categorizador 2 presenta un nivel de concordancia mayor, estimado alrededor del 84 %. Como se puede observar en la figura 5.16, las distribuciones revelan un alto grado de acuerdo en la categorización de los problemas correspondientes a las guías 3 y 4. Ambas presentan la misma tendencia, resaltando desempeños prioritariamente metodológicos, en menor medida de conocimiento y encontrando la categoría propósitos sin problemas categorizados.

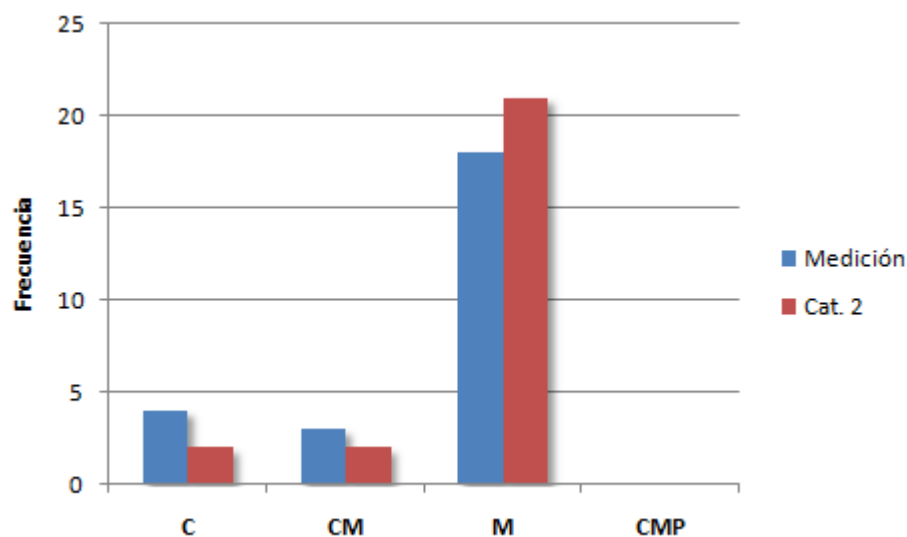


Figura 5.16: Distribución de medición y categorizador 2 de guías 3 y 4.

Finalmente, el categorizador 3 exhibe una concordancia del 67% respecto de la medición realizada. En la figura 5.17 se exponen ambas distribuciones, encontrando una tendencia similar a la distribución anterior, donde los desempeños presentan características prioritariamente metodológicas y prácticamente nulas a nivel propósitos.

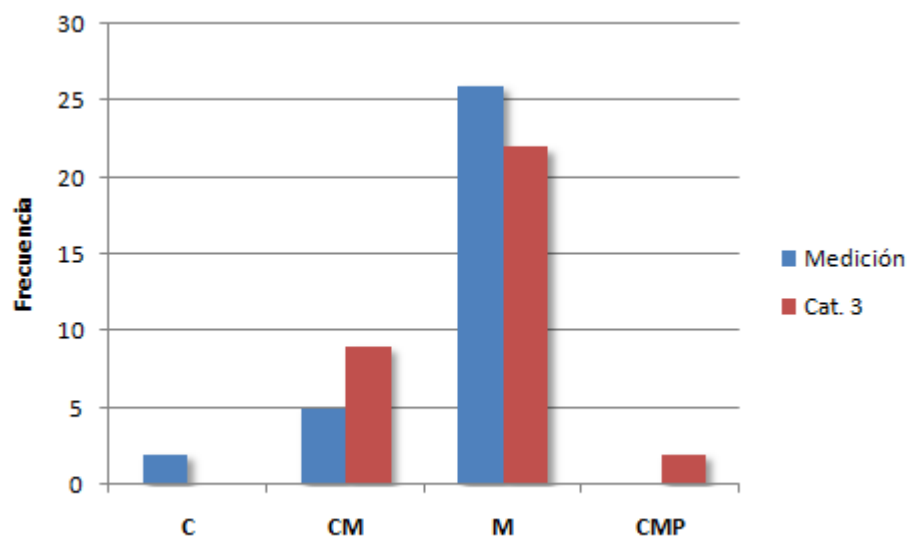


Figura 5.17: Distribución de medición y categorizador 3 de guías 5, 6 y 7.

El criterio de acuerdo, en este análisis, está restringido exclusivamente a problemas que categoricen exactamente en la misma categoría. Sin embargo, tiene sentido pensar en un criterio más flexible.

En una instancia de devolución oral, los categorizadores afirman que algunos problemas presentan cualidades de la dimensión contenidos por el sólo hecho de involucrar conceptos. Este criterio asumido por los categorizadores no se atiende estrictamente a la previsión teórica, que considera desempeños en contenido a aquellos casos en que la tarea requiera prioritariamente desempeño conceptual.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, tiene sentido valorar como acuerdo aquellos problemas que hayan sido medidos en la categoría métodos y que el categorizador haya juzgado como contenidos-metodológicos (CM). Es importante aclarar que la recíproca no es considerada acuerdo. De esta forma los porcentajes de concordancia se modifican, resultando tal como se expone en el cuadro 5.3. Se puede observar que los valores crecen notablemente para los categorizadores 1 y 3.

	Categorizador 1	Categorizador 2	Categorizador 3
Porcentaje Concordancia	82 %	85 %	84 %

Cuadro 5.3: Nivel de concordancia respecto de los tres categorizadores considerando criterio flexible.

Cabe destacar que se podría tratar el problema desde una estadística distinta, analizando el nivel de concordancia mediante el coeficiente kappa de Cohen[15][1]. Sin embargo, el tamaño de la muestra, el tipo de medición y las características del problema general, inducen a decidir realizar comparaciones directas sin recurrir a esa clase de análisis.

Como resultado de las distribuciones obtenidas, y teniendo en cuenta las características de la medición que se pretende validar, se concluye que el nivel de concordancia es aceptable para considerar válida la categorización realizada.

5.2.4. Discusión del Análisis

Los resultados reflejan características metodológicas como predominantes en los desempeños sugeridos a los alumnos. Es importante destacar algunos aspectos de estas conclusiones. Por un lado, es necesario aclarar las limitaciones y los alcances de esta investigación, y tener en cuenta que se analizan ciertas características de la enseñanza y que muchas otras quedan fuera de análisis.

La instancia de oralidad, el desarrollo de la clase, consultas, algunas dinámicas de ejercitación, entre muchas otras actividades de enseñanza, no están contempladas en este análisis y quedan fuera del rango de observación. Sin embargo vale pena, volver a destacar, que desde el punto de vista de la Enseñanza para la Comprensión, el acto de comprender está totalmente ligado a desempeños, es decir a las actividades propuestas a los alumnos para que aprendan y para evaluarlos. Siendo la resolución de problemas, la principal actividad desarrollada por los alumnos, tiene sentido pensar que corresponde con un destacado indicador de características de la enseñanza del curso en cuestión.

Si bien es cierto, (confirmado desde una entrevista con el profesor), que los enunciados del problema pueden resultar disparadores de preguntas que inviten a una instancia oral con el profesor, (y que la oralidad tome protagonismo por encima del enunciado propiamente dicho) numerosas investigaciones en el área de enseñanza de la física, destacan

el rol relevante del enunciado en el proceso de construcción. El enunciado del problema genera una de las primeras representaciones que construye el sujeto y suele tener una importancia decisiva en el éxito o fracaso en la resolución. Favorece la comprensión y el desempeño académico de los alumnos el hecho que el enunciado del problema contenga todos los aspectos involucrados para su resolución [27].

El argumento de una construcción dinámica con el docente y con el grupo, no podría sostenerse en el caso de los exámenes ya que corresponde una instancia individual y escrita, donde el problema contiene todos los aspectos relevantes para su resolución. En el estudio de estas instancias, se encontró una tendencia similar a las guías de trabajo práctico; predominio de aspectos metodológicos, en menor medida de conocimientos y menos aún en relación a usos y propósitos. Es decir, existe correlación entre las características de los desempeños de guías de trabajo práctico y exámenes.

Capítulo 6

Conclusiones

Este trabajo intenta responder cuáles son las características de los desempeños de comprensión en Física Contemporánea, presentados a estudiantes en un curso de Formación inicial de profesorado en Física. En vista de tal fin, se investigaron los documentos escritos presentes en tal dinámica. Se realizaron dos tipos de análisis de naturaleza diferente: por un lado se investigó el lugar que ocupa esta disciplina en los planes de estudio de unidades académicas pertenecientes a la jurisdicción de la Provincia de Córdoba; por el otro, se caracterizó la enseñanza en una de esas instituciones mediante indicadores construidos desde la Enseñanza para la Comprensión.

6.1. Aseveraciones de Conocimiento

El análisis de los planes de estudio refleja que la física cuántica tiene un lugar reducido dentro de la currícula en las tres unidades académicas en cuestión. Más aún, se encuentra que la carga horaria de esta disciplina respecto del total ronda entre el 4 % y el 6 % aproximadamente. A pesar de la imperiosa necesidad de incluir estos tópicos en la formación de docentes, los planes de estudio aún no responden a la demanda social actual.

Por otro lado, se logró construir indicadores para caracterizar algunos aspectos de la enseñanza en una unidad académica. En particular, se construye una metodología para categorizar desempeños de comprensión escritos; en este caso resolución de problemas. Dentro de las cualidades de la comprensión planteadas desde la EpC, los resultados arrojan un fuerte tendencia en los desempeños a demandas metodológicas (cerca del 73 %). En menor medida, prevalecen problemas de carácter conceptual (25 % aproximadamente) mientras que es posible afirmar que dentro de los desempeños propuestos, prácticamente es nulo el porcentaje orientado a aplicaciones prácticas del conocimiento (dimensión propósitos). La medición se llevó a cabo tanto en guías de trabajo práctico como en exámenes parciales y fue validada por tres personas competentes, con formación y dedicación en el área.

Los resultados permiten inferir que, aparentemente, habría una inclinación de la enseñanza orientada hacia aspectos metodológicos. En particular, en el caso de la disciplina en cuestión, hay un predominio de formalismo matemático por encima de aspectos con-

ceptuales en la propuesta didáctica de la unidad estudiada, pero en mayor medida aún, de aplicaciones y usos prácticos del conocimiento. Probablemente sea necesario generar una discusión para incorporar aplicaciones tecnológicas derivadas de la disciplina, lo que corresponde con uno de los pilares de la fundamentación del espacio curricular.

6.2. Discusión y Perspectivas

Como se ha mencionado anteriormente, la investigación posee limitaciones en su alcance. Si bien el estudio permite inferir ciertas cualidades de la enseñanza y concluir en un predominio de aspectos metodológicos, existen diversas variables involucradas en la enseñanza que no estuvieron presentes en el campo de análisis. Un estudio a posteriori podría abarcar las dimensiones orales de la enseñanza mediante observaciones, como así también, sería fructífero analizar las características de la comprensión de los alumnos a medida que transitan el curso.

Teniendo en cuenta el desafío pedagógico que enfrentan las instituciones al abordar estas disciplinas, sería favorable poner al alcance de los docentes, técnicas, herramientas (simulaciones, experimentos, etc.) y propuestas didácticas como medios facilitadores de la “visualización” en la física cuántica.

Finalmente, el avance de la tecnología, el conocimiento y las costumbres cotidianas del hombre, demandan una actualización casi permanente de los planes de estudio, tanto a nivel medio como en los mismos profesorados. La física cuántica parece requerir una redistribución de la carga horaria, dando lugar y tiempo a los procesos que requieren los estudiantes (y por consiguiente los profesores), para la construcción de los conceptos e ideas abstractas y no intuitivas, como así también para favorecer la comprensión en todas sus dimensiones: conocimientos, métodos, propósitos y usos y comunicación.

Bibliografía

- [1] Agresti Alan, “An Introduction to Categorical Data Analysis”. Wiley. 2007
- [2] Baily Charles and Finkelstein Noah D. “Interpretive Themes in Quantum Physics: Curriculum Development and Outcomes”. Physics Education Research Conference 2011
- [3] Baily Charles and Finkelstein Noah D., ”Teaching and understanding of quantum interpretations in modern physics courses”. Phys. Rev. ST Phys. Educ. 2010.
- [4] Baily Charles. “Early Atomic Models – From Mechanical to Quantum”. The European Physical Journal 2012.
- [5] Cromer A., Physic in Science and Industry. Reverté. 1998
- [6] Department of the Army, Basic Theory and Application of Transistors. 1959
- [7] Euler Manfred , Hanselmann Markus & Müller Andreas. “Student concept of quantum physics”.NARST 1999
- [8] Euler Manfred , Hanselmann Markus, Zollman Dean & Müller Andreas. “Students’ views of models and concepts in modern physics”. NARST 1999
- [9] Goldhaber Steve, Pollock Steven ,Dubson Mike , Beale Paul and Perkins Katherine. “Transforming Upper-Division Quantum Mechanics: Learning Goals and Assessment”. Physics Education Research Conference 2009.
- [10] http://ark.intel.com/es/products/37151/Intel-Core-i7-960-Processor-8M-Cache-3_20-GHz-4_80-GTs-Intel-QPI
- [11] <http://www.uba.ar/encrucijadas/50/sumario/enc50-progresotecno.php>
- [12] Hurwitz,Charles L. , Abegg Gerald & Garik Peter. “How computer simulations affect high school students reasoning in quantum chemistry”. NARST 1999
- [13] Jammer Max, The Conceptual Development of Quantum Mechanics. American Institute of Physics, 1989.
- [14] Johnston I. D., Crawford K. and Fletche P. R. “Student difficulties in learning quantum mechanics”. International Journal of Science Education, 1998.

- [15] López de Ullibarri Galparsoro I, Pita Fernández, S., “Medidas de concordancia: el índice Kappa”. Cad Aten Primaria, 1999
- [16] Luo Guang, Zhou Shang-qi , Han Zhong , Chen Shuang-kou, Applications of Compton Scattering. Journal of Chongqing University. 2006
- [17] McKagan S. B., Perkins K. K., Dubson M., Malley C., Reid S., LeMaster R. and Wieman C. E. “Developing and Researching PhET simulations for Teaching Quantum Mechanics”. American Journal of Physics 2008.
- [18] Niedderer Hans & Deylitz Stefan. “Evaluation of a new approach in quantum atomic physics in high school”. NARST 1999
- [19] Novak, Joseph D. Teoría y Práctica de la Educación. Editorial: Alianza. Madrid. ISBN-10: 842062330X. ISBN-13: 978-8420623306. 1990
- [20] Proyecto de Mejora - Ministerio de Educación de la Nación - http://cedoc.infed.edu.ar/upload/fisica_1.pdf
- [21] Rebello Sanjay, Zollman Dean, “Conceptual understanding of quantum mechanics after using hands-on and visualization instructional materials”. NARST 1999
- [22] Robblee Karen M. , Garik Peter & Abegg Gerald. “Using computer visualization software to teach quantum science: the impact on pedagogical content knowledge”. Annual Conference of the American Educational Research Association. 2000
- [23] Rodríguez Meza M.A. & Cervantes Cota J.L., Ciencia ergo Sum vol 13-3, México. 2007
- [24] Sampieri, Collado & Lucio, Metodología de la Investigación. McGraw-Hill. 2006
- [25] Supplee Curt, “Physics of the 20th Century”. Abrams. New York. 1999
- [26] Torres, Paz & Salazar, “Tamaño de una muestra para una investigación de Mercado”. Boletín Universidad Rafael Landívar. 2002
- [27] Truyol M. Elena, Gangoso Zulma. “Selection of different types of physics problems as a tool to guide cognitive processes”. Investigações em Ensino de Ciências – V15(3), pp. 463-484, 2010
- [28] Wiske, Martha Stone, “La Enseñanza para la Comprensión”. Paidós. 1999
- [29] Zamar Ricardo, Notas de Clase para “Física Contemporánea”. FaMAF - UNC. 2014
- [30] Zettili Nouredini, Quantum Mechanics Concepts and Applications, 2nd Edition. Wiley. 2009
- [31] Zollman Dean, “Researching on teaching and learning quantum mechanics”. NARST 1999.

- [32] Zollman Dean, “Workshop Visual Quantum Mechanics - A Sample of Materials for Teaching Quantum Mechanics Through Interactive Engagement & Visualization”. ICPE 2014

Capítulo 7

Anexo

7.1. Categorización de Desempeños

En la figura 7.1 se muestran la tabla de categorización de los desempeños, tanto guía de problemas como exámenes.

	Prob./Dim.	c1	c2	m1	m2	p1	Categoría
Guía N°1	1		I	I			CM
	2a		I				C
	2b		I				C
	3				I		M
	4			I	I		M
	5				I		M
	6				I		M
	7		I		I		CM
	8		I		I	I	CMP
	9			I			M
10			I		I		CM
Guía N°2	1		I				C
	2				I		M
	3				I		M
	4				I		M
	5				I		M
	6				I		M
	Compl. a				I		M
	Compl. b		I		I		CM
	Compl. c		I		I		CM
	Compl. d			I			M
Guía N°3	6a				I		M
	6b				I		M
	7a		I				C
	7b		I				C

	Prob./Dim.	c1	c2	m1	m2	p1	Categoría
	7c		I	I			CM
	8a				I		M
	8b				I		M
	8c				I		M
	8d				I		M
Guía N°4	1	I					C
	2a				I		M
	2b				I		M
	2d				I		M
	3a				I		M
	3b				I		M
	4a				I		M
	4b				I		M
	4c				I		M
	5	I			I		CM
	6a				I		M
	6b		I	I			CM
	6c				I		M
	7				I		M
	8		I				C
9a				I		M	
9b		I		I		CM	
9c		I		I		CM	
10				I	I	M	
Guía N°5	1		I				CM
	2		I		I		CM
	3		I		I		CM
	4				I		M
	5a				I		M
	5b		I				C
	5c				I		M
	6a			I			M
	6b			I			M
	6c			I			M
	7a			I			M
	7b			I			M
8		I	I			CM	
Guía N°6	1				I		M
	2				I		M
	3	I	I		I		CM
	4a				I		M
	4b				I		M

	Prob./Dim.	c1	c2	m1	m2	p1	Categoría
	4c				I		M
	4d				I		M
	4e				I		M
	5		I		I		CM
	6				I		M
	7a				I		M
	7b				I		M
	8		I				C
Guía N°7	1a			I	I		M
	1b			I	I		M
	1c				I		M
	2			I	I		M
	3				I		M
	4a				I		M
	4b			I	I		M
	5a				I		M
	5b				I		M
	6a				I		M
	6b				I		M
	6c				I		M
6d				I		M	
Parcial I	2a				I		M
	2b				I		M
	2c				I		M
	2d		I		I		CM
	3a	I					C
	3b	I		I			CM
	3c	I					C
Parcial II	1a				I		M
	1b				I		M
	1c				I		M
	1d				I		M
	1e				I		M
	1f				I		M
	1g				I		M
	1h				I		M
	1i				I		M
	2a				I		M
	2b				I		M
	2c		I		I		CM
	3	I	I				C

Figura 7.1: Tabla de Categorización de Desempeños.

7.2. Validación de Categorización

A continuación se exponen las tablas de categorización realizadas por las personas que validaron la realizada en el trabajo.

7.2.1. Categorizador 1

	Prob./Dim.	c1	c2	m1	m2	p1	Categoría
Guía N°1	2b	I	I				C
	3		I		I		CM
	4			I	I		M
	5			I	I		M
	6			I	I		M
	7		I		I	I	CMP
	8		I		I	I	CMP
	9	I			I		CM
	10		I		I	I	CMP
Guía N°2	1	I					C
	2		I		I		CM
	3		I		I		CM
	5		I		I		CM
	Compl. a		I		I		CM
	Compl. b		I		I		CM
	Compl. c		I		I		CM
	Compl. d		I		I		CM

7.2.2. Categorizador 2

	Prob./Dim.	c1	c2	m1	m2	p1	Categoría
Guía N°3	6a				I		M
	6b				I		M
	7a		I				C
	7b	I		I			CM
	7c		I	I			CM
	8a				I		M
	8b				I		M
	8c				I		M
8d				I		M	
Guía N°4	1	I	I				C
	2a				I		M
	2b				I		M
	2d				I		M
	3a				I		M
	3b				I		M
	4a				I		M
	4b				I		M
	4c				I		M
	5			I	I		M
	6a				I		M
	6b				I		M
	6c				I		M
	7				I		M
8				I		M	
10				I	I		M

7.2.3. Categorizador 3

	Prob./Dim.	c1	c2	m1	m2	p1	Categoría
Guía N°5	1	I		I		I	CMP
	2			I	I		M
	3		I	I			CM
	4	I			I	I	CMP
	5a	I			I		CM
	5b		I	I			CM
	5c				I		M
	6a	I		I			CM
	6b			I	I		M
	6c				I		M
8		I	I			CM	

	Prob./Dim.	c1	c2	m1	m2	p1	Categoría
Guía N°6	1		I	I			CM
	3				I		M
	4a			I			M
	4b			I			M
	4c			I			M
	4d			I			M
	4e			I	I		M
	6		I	I			CM
	7a			I			M
	7b			I	I		M
8		I	I			CM	
Guía N°7	1a			I	I		M
	1b			I	I		M
	1c			I			M
	2				I		M
	3			I			M
	5a			I			M
	5b				I		M
	6a		I	I			CM
	6b			I			M
	6c				I		M
	6d				I		M

7.3. Plan de Estudios

En los siguientes cuadros se exponen los planes de estudio de las unidades académicas que dictan la carrera de profesorado en la provincia de Córdoba.

Cuat.	Primer Año	Segundo Año	Tercer Año	Cuarto Año
1°	Análisis Mat. I	Psicol. del Aprendizaje	Computación	Física Moderna
	Álgebra I	Compl. de Análisis Mat.	Física General IV	
	Intr. a la Física	Física General II		
2°	Análisis Mat. II	Física General III	Mecánica Clásica	Optativa
	Álgebra II	Pedagogía	Intr. a la Prob. y Est.	
	Física General I			
Anual				SEF
				MOPE

Cuadro 7.4: Plan de Estudio Profesorado en Física (universitario).

	Curso
Primer Año	Pedagogía
	Problemáticas Socioantropológicas en Educación
	Lenguaje Digital y Audiovisual
	Práctica Docente I: Contextos y Prácticas Educativas
	Modelos Matemáticos para las Ciencias Naturales
	Química
	Fenómenos Mecánicos I
	Producción Científica y Sociedad
Segundo Año	Psicología y Educación
	Didáctica General
	Práctica Docente II: Escuela, Historias Documentadas y Cotidianeidad
	Sujetos de la Educación y ESI
	Modelos Matemáticos para las Ciencias Naturales II
	Didáctica de las Ciencias Naturales
	Fenómenos Mecánicos II
	Fenómenos Ondulatorios
Tercer Año	Historia y Política de la Educación Argentina
	Práctica Docente III: El Aula Espacio del Aprender y del Enseñar
	Filosofía de las Ciencias
	Didáctica de las Ciencias Naturales II
	Trabajo Experimental en Ciencias Naturales
	Ciencias de la Tierra
	Fenómenos Termodinámicos
	Fenómenos Electromagnéticos
Cuarto Año	Ética y Construcción de Ciudadanía
	Problemáticas y Desafíos de la Educación
	Práctica Docente IV y Residencia
	Historia y Epistemología de la Física
	Didáctica de las Ciencias Naturales III
	La Física del Siglo XX
	Astronomía

Cuadro 7.5: Plan de Estudio Profesorado en Física (No universitario).

	Curso
Primer Año	Matemática I
	Química General F
	Introducción a la Física
	Taller de Problematicación Docente
	Matemática II
	Instituciones Educativas
	Introducción a la Físico-Química F
	Física General
Segundo Año	Física I (Mecánica)
	Pedagogía Especial
	Iniciación a La Práctica Docente (IAP 1)
	Inglés I
	Sociología de la Educación
	Matemática III
	Principios Físicos de Geología y Astronomía
	Psicología Evolutiva
Investigación Educativa	
Tercer Año	Física II (Electromagnetismo)
	Elementos de Psicología Educativa
	Iniciación a La Práctica Docente II (IAP 2)
	Física III (Óptica y Termodinámica)
	Inglés II
Cuarto Año	Física IV (Física Atómica y Molecular)
	Proyecto I
	Práctica Docente y Currículo I
	Proyecto II
	Taller Didáctica de Física
	Tópicos Especiales de Física (Estadística – Estados de la Materia)
	Epistemología e Historia de la Física
	Práctica Docente y Currículo II
	Optativa I
	Optativa II

Cuadro 7.6: Plan de Estudio Profesorado en Física (universitario).