

# EVOLUCIÓN DE LAS REPRESENTACIONES DOCENTES EN LA FÍSICA CUÁNTICA

FERNÁNDEZ<sup>1</sup>, PATRICIA E.; GONZÁLEZ<sup>2</sup>, EDUARDO M. y SOLBES MATARREDONA<sup>3</sup>, JORDI

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. <patricia@fceia.unr.edu.ar>

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Rosario. Argentina. <egonza@famaf.unc.edu.ar>

<sup>3</sup> I.E.S. José Rodrigo Botet, Valencia, España. <Jordi.Solbes@uv.es>

---

**Palabras clave:** Modelos; Currícula; Formación docente; Física cuántica; Relaciones de indeterminación.

## OBJETIVOS

En este trabajo se plantean diversos aspectos de la problemática de la enseñanza de la física cuántica (FC) en el nivel de formación docente. Se consideran algunos resultados que emergen del seguimiento de la evolución de las representaciones de los docentes en temas pilares de la mecánica cuántica, de los cuáles se ha elegido el de “las relaciones de incertidumbre”. La investigación se realizó, en el marco de un curso de actualización orientado a superar situaciones problemáticas detectadas en una investigación anterior y como parte del trabajo de campo de una tesis doctoral.

## MARCO TEÓRICO

Desde ya hace tiempo, los avances tecnológicos derivados de la FC se han ido incorporando a la vida cotidiana generando mejores estándares de vida, aportando nuevos tratamientos médicos, optimizando la producción. A la vez, las consecuencias derivadas de un uso irracional de alguno de estos avances, amenazan dicha calidad de vida y la preservación de nuestro ambiente tal como lo conocemos.

La introducción en la enseñanza de ciencias de los conceptos cuánticos desarrollados en el siglo pasado, sus consecuencias y derivaciones, es una necesidad insoslayable y un compromiso a asumir por los profesores de ciencia. Sin embargo una formación docente insuficiente, sumada a la extensión de la currícula colabora para que la información sobre estos temas quede reservada casi exclusivamente a fuentes extraescolares.

En el caso de los fenómenos cuánticos, los conceptos y modelos involucrados, están aún más alejados de las percepciones cotidianas que muchos otros tópicos de la física clásica, razón por la que su inclusión en la enseñanza de nivel medio no siempre ha sido bien vista por maestros y profesores, partidarios de una enseñanza focalizada en los modelos clásicos.

Esta postura se acentúa cuando algunos autores afirman que la FC sólo puede ser formulada en términos de conceptos matemáticos o que su potencialidad explicativa sólo podrá apreciarse a través de un buen manejo del formalismo.

Por otra parte, la investigación educativa en ciencia ha mostrado que los docentes tenemos preconcepciones, o ideas de sentido común sobre la naturaleza de la ciencia, el trabajo científico y su enseñanza, que han sido adquiridas de manera incidental, en largos períodos de formación, son persistentes y escapan generalmente a la crítica (Maiztegui et al 2001).

La existencia de dificultades no superadas o de visiones deformadas que persisten aún después del proceso de enseñanza aprendizaje ha sido señalada por diversos autores. Sin embargo, no se encuentran suficientes estudios en la literatura, que caractericen el pensamiento del profesor, o que propongan alternativas de superación de estas dificultades (Solbes et al 2001).

Al mismo tiempo, ciertos textos destinados a la enseñanza de la FC, señalan la escasa incorporación de tratamientos que tengan en cuenta estas dificultades.

Algunos autores, preocupados por el poco interés de los alumnos hacia la ciencia y en un intento de transformar los contenidos en algo atractivo, recomiendan modernizar los cursos introductorios de física en la universidad mediante la presentación de las ideas cuánticas y relativistas en los primeros años de la instrucción universitaria. Taylor y Zafiratos (1991), destacan la importancia de incluir los principios que rigen la física contemporánea en cursos de estudiantes que no continuarán con estudios científicos posteriores y presentan un texto en el que intentan desarrollar los tópicos de FC en un nivel accesible.

Nernessian (1992), resalta la importancia de recurrir al uso de analogías en el planteo inicial de una nueva teoría. Su propuesta se basa en la investigación del modo en que razonaban los grandes científicos de la historia, para quienes los modelos de teorías ya vigentes eran el punto de partida para la explicación de nuevos fenómenos.

Gil et al (1989), elaboraron propuesta que toma como punto de partida el análisis de la crisis de la física clásica, los límites de validez de ésta y las diferencias entre la concepción clásica y cuántica del comportamiento de la materia.

Petri et al (1998), describen una alternativa didáctica en la que a partir de un estudio de caso analizan la evolución de los modelos del átomo de un alumno.

Greca et al (1998) realizan un estudio sobre modelos mentales de estudiantes y proponen un enfoque basado en la discusión de algunos tópicos particulares como la superposición de estados y la dualidad onda-partícula.

Nuestra propuesta toma como punto de partida el análisis de los límites de los modelos de onda y partícula, clásicamente irreconciliables, y apunta a la construcción un modelo de mayor poder explicativo a partir de los aspectos de cada uno de ellos que aún prevalecen en la FC, prescindiendo en una primera instancia del formalismo, pero cuidando de no incurrir en errores conceptuales ni epistemológicos. Creemos, que al menos en el nivel medio e incluso en el universitario básico, “es necesaria” una presentación inicial de la FC que parta de niveles más concretos de razonamiento.

## **DESARROLLO DEL TEMA**

Partiendo de una perspectiva constructivista hemos realizado un estudio de las concepciones docentes y su transformación, bajo un enfoque de situaciones problemáticas. El estudio se realizó durante la implementación de una alternativa didáctica que apuntaba a superar puntos de conflictos detectados en la formación de profesores (González et al 2000, Solbes et al 2001) entre los que pueden mencionarse:

- se conocen los hitos históricos que marcaron los inicios de esta nueva física, pero no se los interpreta como la evidencia de una verdadera revolución conceptual,

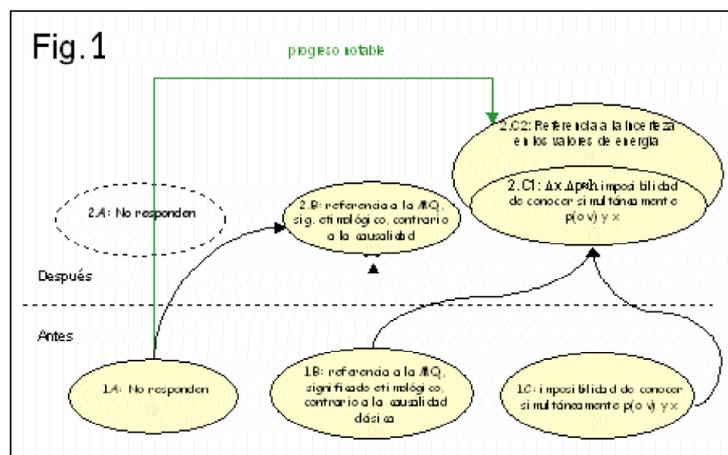
- coexistencia de dos modelos independientes, uno para la luz (que puede comportarse como partícula, el fotón) y otro para la materia (limitado al electrón, al que puede asociársele una onda cuando gira alrededor del núcleo). En esta visión, estos entes no pueden dejar de ser, o bien ondas o bien partículas en un sentido estrictamente clásico.
- persistencia de concepciones erróneas simplistas al considerar, por ejemplo, a las relaciones de Heisenberg como un postulado que da cuenta de un desconocimiento de la posición, o a las interpretaciones probabilísticas asociadas a problemas de medición, ambas superables con el avance tecnológico.
- una visión del formalismo limitada a la resolución de ejercicios con escasa aplicación en la interpretación de los fenómenos cuánticos.

Para abordar los problemas de formación detectados, se diseñó una alternativa didáctica cuyo hilo conductor fue la discusión de los modelos dual de la materia y la radiación. Uno de los instrumentos utilizados en la evaluación de la alternativa consistió en una encuesta que los profesores respondieron antes de iniciar el curso y a su finalización, sobre tópicos relacionados con los puntos de dificultad mencionados. Las respuestas se agruparon en categorías y se establecieron vínculos de evolución entre ellas. Se presenta a modo de ejemplo el estudio de la evolución de los modelos de los docentes en un tema concreto, *¿qué entiende por relaciones de incertidumbre?* y se describen las concepciones previas y las alcanzadas a la finalización (figura 2).

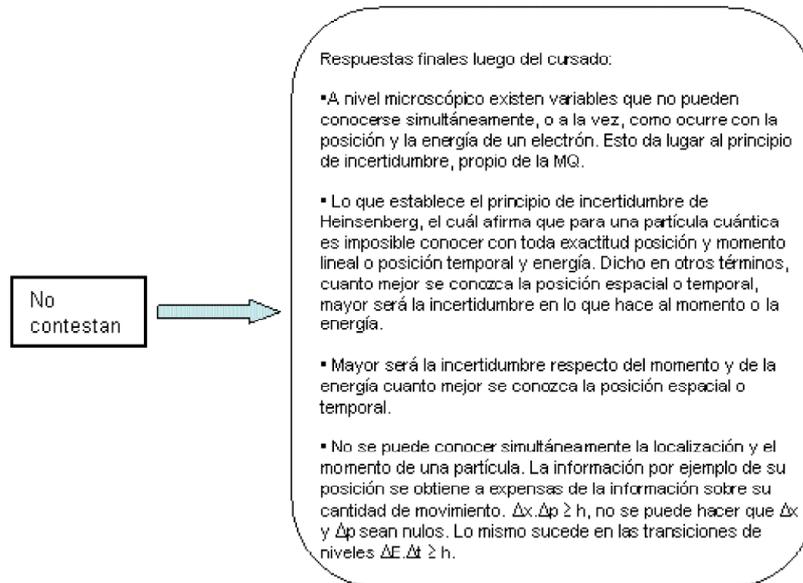
### ¿Qué entiende por relaciones de incertidumbre?

En el caso de las relaciones de incertidumbre de Heisenberg, a pesar de que el contexto del curso era el de un curso de formación en temas de FC y que todos los temas de la encuesta eran referidos a ese tema, las respuestas más frecuentes antes del cursado se referían al significado etimológico de la palabra *incertidumbre*, como una falta de conocimiento en general, y no en referencia a propiedades inherentes al modelo cuántico.

A partir de las respuestas en la pre encuestas se establecieron 3 categorías: 1.A (no responde), 1.B (respuestas ambiguas que se remiten al significado etimológico como algo contrapuesto al determinismo causal propio de la mecánica clásica) y 1.C (se cita explícitamente la limitación en la precisión de la medición simultánea de posición y velocidad o cantidad de movimiento; no hay referencia a la energía ni a  $\Delta x \cdot \Delta p \approx \hbar$ ). En el análisis de las respuestas recabadas al finalizar el curso, se establecieron básicamente las mismas tres categorías que anteriormente: 2.A (no responde), 2.B (sentido etimológico de la palabra, alusión general a la MQ) y 2.C (se citan explícitamente la cuestiones propias de la MQ). En este último caso se evidencia avances que permiten subdividir esta categoría en dos subgrupos: 2.C<sub>1</sub> (al igual que en la 1C, se refieren únicamente a la imposibilidad de conocer simultáneamente la posición y la cantidad de movimiento, pero agregando a veces su expresión formal  $\Delta x \cdot \Delta p \approx \hbar$  en forma explícita) y 2.C<sub>2</sub> (además de los anterior reconocen las relaciones de incerteza para la energía y las atribuyen a Heisenberg). La figura 1 muestra la evolución de las respuestas.



En el cuadro siguiente se muestran las respuestas finales luego del cursado de los encuestados que inicialmente no habían logrado responder a la pregunta. Estas respuestas corresponden a la evolución que en la figura anterior se indica como *progresos notables*.



Todos los encuestados que responden a esta pregunta entienden las relaciones de indeterminación como una característica propia de la FC, aunque no siempre pueden explicitar las razones de esta pertenencia y simplemente las contraponen a las leyes causales que rigen los comportamientos de los fenómenos descritos por la mecánica clásica.

Los que presentan una evolución más notable son quienes no respondieron inicialmente (evolución de la categoría 1.A a la 2.C). No tenemos datos para decir que carecían de ideas previas antes de realizar el curso, pero sí que no tenían claridad suficiente para volcar su pensamiento en una respuesta.

Los grupos 1B y 1C presentan mayor resistencia al cambio y la instrucción en este caso se tradujo en una evolución moderada que consiste posiblemente en una acomodación (en el sentido de Piaget): se incorporan unas pocas ideas nuevas en las estructuras conceptuales anteriores, cuestión que se evidencia en la mejor argumentación. Se evidencia entonces la necesidad de profundizar en los tratamientos didácticos para contribuir a superar las resistencias de quienes tienen más ancladas unas ciertas preconcepciones.

Llama la atención que los encuestados sólo asocian las relaciones de incertidumbre a las partículas, a pesar de que los profesores conocían las relaciones ( $\Delta x \cdot \Delta k \approx 2 \cdot \pi$ ) para el caso de las ondas clásicas (pulsos) y que en el curso se había discutido su relevancia como elemento del modelo ondulatorio clásico que sería extrapolado al modelo cuántico, con las modificaciones correspondientes.

Esta visión de las relaciones reducida a las partículas, sumada a la concepción cotidiana de incertidumbre como algo incierto o desconocido, podría ser la causa de una visión de la FQ asociada a tratamientos estáticos que son necesarios para salvar una falta de conocimiento.

## CONCLUSIONES

El desarrollo de la ciencia supone la modelización del mundo natural en vista a lograr una descripción ajustada de los fenómenos que se observan y la síntesis de las leyes que gobiernan el comportamiento de las observaciones en teorías, previamente consensuadas por la comunidad científica. Sin embargo, la discusión

de estos modelos no siempre es encarada con la misma rigurosidad que el tratamiento de contenidos. Si bien los modelos y la modelización se consideran parte integral de la cultura científica, su importancia no ha sido suficientemente proyectada en las aulas. Tampoco el análisis e interpretación de situaciones a partir de modelos y principios no está debidamente incorporado a la formación docente.

Creemos que la discusión de modelos, sugiere un camino que facilita el tránsito de las concepciones clásicas hacia estructuras más abstractas y formales.

En el caso de la física cuántica, una presentación que parta de modelos clásicos más familiares de onda y partícula, que discuta sus limitaciones para explicar los nuevos fenómenos y también las aportaciones de cada uno de ellos a la construcción de un nuevo modelo, prescindiendo en una primera instancia del formalismo específico, puede favorecer una buena evolución de las concepciones de los profesores hacia los modelos aceptados por la ciencia. Varios son los temas que la física cuántica propone para analizar los modelos involucrados. El análisis que se presenta en este trabajo, en base a las relaciones de incertidumbre, pretende ser un ejemplo de un estudio sobre concepciones de profesores en un tema considerado pilar de la física cuántica. En otros trabajos hemos analizado las dificultades presentes en temas como la noción de dualidad onda-partícula, la superposición de estados, las representaciones de objeto cuántico, entre otros considerados de especial dificultad.

Nuestra propuesta, se basa en estas ideas y pretende ser un aporte a la mejora de la enseñanza de estos temas en el nivel de profesorado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) GIL D., SENENT F. Y SOLBES J. (1989). Física moderna en la enseñanza secundaria: una propuesta fundamentada y unos resultados. *Revista Española de Física*. Vol 3, pp. 53-58.
- 2) GONZÁLEZ E., FERNÁNDEZ P., SOLBES J., (2000). "Dificultades de docentes de ciencia en la conceptualización de temas de física actual". Memorias V Simposio de Investigadores en Enseñanza de la Física. Santa Fe, Argentina.
- 3) GRECA I., Moreira A. (1998). O que estão entendendo alunos universitários nas aulas de mecânica quântica. *II ENPEC*. Brasil.
- 4) MAIZTEGUI A., GONZÁLEZ E., TRICÁRICO H., SALINAS J., PESSOA DE CARVALHO A., GIL PÉREZ D. (2001). La formación de los profesores de ciencias en Iberoamérica. *Revista Iberoamericana de Educación*, Número 24, pp. 163-187.
- 5) NERESSIAN N. (1992). Constructing and Instructing: The role of "Abstraction Techniques" in creating and learning Physics. *Philosophy of Sc. Cognitive Psychology, and Educational Theory and Practice*. Cap. 2, pp. 48-67. Ed. Duschl R. & Hamilton R. NY.
- 6) PETRI J., NIEDDERER H. (1998). A learning pathway in high school level quantum atomic physics. *Int. J. of Sci. Educ.* Vol 20 (9), 1075-1088.
- 7) SOLBES J., FERNÁNDEZ P., GONZÁLEZ E. (2001). Carencias en la formación docente en temas de física contemporánea en Argentina. Actas Congreso Internacional de Investigaciones en *Enseñanza de las Ciencias*. Barcelona, España.
- 8) TAYLOR J.R., ZAFIRATOS C. (1991). *Modern Physics for Scientist and Engineers*. Prentice-Hall: New Jersey.