

Concepción de la Mecánica Cuántica para la formación de profesores en Angola según la estructura de la correspondiente teoría física



Rodríguez-Rodríguez, Luis Eduardo; Gaio, José Manuel; Chamizo-Bosh, Yamila

Luis Eduardo Rodríguez-Rodríguez

luiseduardorr745@gmail.com

Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez,
Cuba., Cuba

José Manuel Gaio

josemanuelgaio1964@gmail.com

Escuela Superior Pedagógica de Bié, Angola., Angola

Yamila Chamizo-Bosh

amilachb@unica.cu

Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez,
Cuba., Cuba

Educación y sociedad

Universidad de Ciego de Ávila, Cuba

ISSN: 1811-9034

Periodicidad: Cuatrimestral

vol. 21, núm. 1, 2023

edusoc@unica.cu

Recepción: 04 Enero 2023

Aprobación: 23 Enero 2023

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/762/7624643007/>

Resumen: En este artículo se argumenta la concepción de la disciplina Mecánica Cuántica para profesores de Física en formación en Angola a partir de la estructura de la correspondiente teoría física. Los resultados se complementan con el estudio del aprendizaje de los estudiantes en los años lectivos 2019 y 2020 en la carrera de Licenciatura en Educación Opción Física de la Escuela Superior Pedagógica de Bié. Se utilizó una metodología mixta en la que se consideraron métodos y técnicas tanto cuantitativas como cualitativas para el análisis y procesamiento de la información. Se realizó una prueba pedagógica para evaluar el nivel de dominio de los contenidos de la Mecánica Cuántica en una muestra intencional de 36 estudiantes de cuarto año en el curso 2019 y 18 estudiantes en el 2020. Los resultados del aprendizaje de los estudiantes sustentan la concepción asumida en la investigación, al obtener valores iguales o superiores al valor medio en una escala cualitativa de tres índices.

Palabras clave: enseñanza de la Física, enseñanza de la Mecánica Cuántica, formación inicial de profesores.

Abstract: In this article one argues the conception of the Quantum Mechanical discipline for professors of Physics in formation in Angola starting from the structure of the corresponding physical theory. The results are supplemented with the study of the learning of the students in the years lectivos 2019 and 2020 in the career of Licentiate in Education Physical Option of the Pedagogic Superior School of Bié. A mixed methodology was used in the one that you/they were considered methods and techniques so much quantitative as qualitative for the analysis and prosecution of the information. He/she was carried out a pedagogic test to evaluate the level of domain of the contents of the Quantum Mechanics in an intentional sample of 36 fourth year-old students in the course 2019 and 18 students in the 2020. The results of the learning of the students sustain the conception assumed in the investigation, when obtaining same values or superiors to the half value in a qualitative scale of three indexes.

Keywords: Teaching of the Physics, teaching of the Quantum Mechanics, professors' initial formation.

INTRODUCCIÓN

La Física cuántica se enseña en la formación de profesores en muchos países según Krijtenburg, L. (2019). Se considera importante su inclusión en los currículos de pregrado por su contribución a dar una visión más completa de la historia y desarrollo de la ciencia, a la comprensión del papel de los modelos para el estudio de la estructura de la materia y la interpretación de los fenómenos microscópicos. Desde el punto de vista ontológico, permite cuestionar las visiones clásicas de la realidad y asumir una visión más amplia del conocimiento (Martin y Martin, 2012; González, Muñoz y Solbes, 2020).

De igual modo, el estudio de la Física cuántica, desde el enfoque de la física teórica, permite contribuir a la formación de la concepción dialéctico materialista del mundo en los estudiantes al revelar las contradicciones que se manifestaron entre las concepciones clásicas de fenómenos como la radiación térmica del cuerpo negro o el efecto fotoeléctrico, por citar dos ejemplos, con los resultados experimentales. La solución de estas contradicciones conduce a una interpretación cualitativamente diferente de estos fenómenos desde la asunción del carácter cuántico de la radiación electromagnética.

La Física cuántica es relevante para desarrollar los intereses de los estudiantes por la física, si se tiene en cuenta la inclinación de los jóvenes por las aplicaciones cuánticas y los aspectos teóricos más controversiales. Revelar las aplicaciones de la física cuántica favorece la interpretación de la relación ciencia, tecnología, la sociedad y el ambiente, tan importantes en las condiciones de desarrollo tecnológico y cultural actual de la humanidad.

Consecuentemente con las ideas anteriores los autores de este artículo asumen que la inclusión de la física cuántica en los currículos de formación profesoral contribuye al desarrollo de cualidades del pensamiento como la independencia, la flexibilidad, la consecutividad, la profundidad y la rapidez Rodríguez y Rodríguez (2018), así como a la sistematización de las habilidades ya formadas en los cursos de física experimental Rodríguez, Gaio y Chamizo (2021).

El curso de Mecánica Cuántica se incluye en el cuarto año de la carrera de Licenciatura en Educación en la Opción de Física en la República de Angola a partir de considerarse como un complemento necesario para la formación de profesores de esta disciplina. Se pretende lograr un profesional con pleno dominio de la física experimental y con un conocimiento adecuado de la física teórica para que se encuentre en mejores condiciones al asumir la enseñanza de la Física en los diferentes contextos de actuación profesional.

La experiencia profesional de los autores, en la enseñanza de la física por muchos años en Cuba y en Angola, permitió precisar limitaciones en los resultados del aprendizaje de la física teórica de los estudiantes y en los intereses por estas disciplinas al considerarlas innecesarias para su futuro desempeño.

En la literatura especializada se han desarrollado investigaciones sobre la enseñanza de la física cuántica en los niveles de la enseñanza secundaria y en la universidad, que constituyen antecedentes al estudio realizado. (Gil y Solbes, 1993; Solbes, 2013; Solbes, 2018; Muñoz, Ramos y Solbes, 2019) señalan dificultades en la enseñanza de la física cuántica tales como la relacionada con la comprensión por los estudiantes de sus postulados y conceptos básicos, la existencia de fuertes preconcepciones sobre el comportamiento de la materia. Desde la perspectiva de la enseñanza de la física cuántica se plantea por estos investigadores que se realiza de forma desestructurada y, muchas veces se yuxtaponen ideas clásicas y cuánticas, se señalan fuertes limitaciones en el orden ontológico y epistemológico para el tratamiento de las ideas fundamentales del cuadro mecánico cuántico del mundo.

Investigadores como (Vicario y Venier, 2010; Solbes y Sinarcas, 2010; Fernández, 2014 y Fanaro, Arlego y Elgue, 2014) establecen estrategias y concepciones didácticas para la enseñanza de la física cuántica en los niveles de enseñanza secundaria y en la universidad. Tendientes a la lógica de estructuración del contenido y a las actividades que pueden promover un óptimo aprendizaje de los contenidos de la física cuántica.

El estudio realizado por los autores de obras anteriores y las necesidades que se presentan en la práctica como docentes de disciplinas relacionadas con la física cuántica, permitió establecer que constituye una

necesidad en la actualidad profundizar en la estructuración del curso de Mecánica Cuántica para la formación de profesores en la universidad a partir de la estructura de la correspondiente teoría física. Esto permitiría mayor sistematización de los conceptos, leyes e ideas fundamentales y evitaría la mezcla incoherente de ideas clásicas y cuánticas, así como poder revelar su surgimiento ontológico e histórico lógico.

Consecuentemente con las ideas expuestas, el objetivo de este artículo es exponer la concepción asumida por los autores para estructurar en contenido de la disciplina Mecánica Cuántica para la formación de profesores de Física en el contexto angolano a partir de las ideas fundamentales, las leyes y las consecuencias de la teoría física de la Mecánica Cuántica.

En la investigación realizada se utilizó una metodología mixta en la que se consideraron métodos y técnicas tanto cuantitativas como cualitativas para el análisis y procesamiento de la información. Entre los métodos y técnicas utilizados se encuentra el análisis de documento de la carrera de Física de la Escuela Superior Pedagógica de Bié como parte de la sistematización de la práctica relacionada con la enseñanza-aprendizaje de la Mecánica Cuántica, el método analítico-sintético de la investigación teórica, la triangulación de información y se aplicó una prueba pedagógica para evaluar el nivel de dominio de los contenidos de la Mecánica Cuántica en una muestra intencional de 36 estudiantes de cuarto año en el año lectivo 2019 y 18 estudiantes en el año lectivo 2020.

DESARROLLO

El estudio de los contenidos relacionados con la mecánica cuántica en la formación de profesores y en la enseñanza general constituye una demanda para ofrecer a los estudiantes una visión actualizada del desarrollo de la física y sus implicaciones para la ciencia, la tecnología, la sociedad y el ambiente, demuestra el carácter dialéctico del proceso del conocimiento humano y desarrolla los intereses de los alumnos por el estudio de la física. Pérez et. al (2018).

La Mecánica Cuántica surgió a principios del siglo XX como nueva teoría científica que estudia el movimiento y las interacciones de los átomos, las moléculas y sus conjuntos, los cristales, los núcleos atómicos y las partículas elementales Yavorski y Detlaf (1985). La génesis del surgimiento de las ideas cuánticas, se encuentran en las contradicciones que se manifiestan en la mecánica y la electrodinámica clásica con los resultados experimentales obtenidos en fenómenos como la radiación térmica y el efecto fotoeléctrico.

A nivel internacional diferentes investigadores han abordado la temática de la enseñanza de la física cuántica, Solbes y Sinarcas (2010) presentan una propuesta para la enseñanza de la física cuántica que incluye los aspectos conceptuales, los procedimientos y las relaciones CTS que es necesario considerar para lograr un aprendizaje significativo de los alumnos similar a como ocurre en la investigación didáctica de las ciencias. Estos autores a partir del análisis de algunas contradicciones de la física clásica con los resultados experimentales proponen organizar el curso de acuerdo a la lógica siguiente:

1. Efecto fotoeléctrico: los fotones
2. Espectros atómicos y el modelo de Bohr
3. Hipótesis de De Broglie y la difracción de electrones
4. Las relaciones de indeterminación de Heisenberg.
5. La función de onda y los niveles de energía.
6. Aplicaciones de la física cuántica.
7. Recapitulación de la física moderna.

Este enfoque se considera por los autores de este artículo pertinente, de acuerdo a la lógica epistémica de la física cuántica y a su surgimiento histórico como teoría científica; sin embargo, para un curso destinado a la formación de profesores, se estima necesario una estructuración más cercana a las características de la teoría

científica. De igual modo, debe incluirse como parte de los fundamentos de la teoría la radiación térmica del cuerpo negro y las contradicciones que se manifestaron entre los resultados experimentales y la teoría de la electrodinámica clásica en dicho fenómeno. También se considera necesario abordar como parte del núcleo de la misma el estudio de la ecuación fundamental de la mecánica cuántica.

Se estima valiosa la lógica metodológica para el tratamiento que se ofrece para el estudio del efecto fotoeléctrico, al modelo atómico de Bohr, a la hipótesis de De Broglie y a las relaciones de incertidumbre de Heisenberg.

En los trabajos de Solbes y Sinarcas (2010), se considera de significativo valor epistemológico para el estudio de la física cuántica, la utilización de actividades de aprendizaje donde se analizan los resultados experimentales que contradicen los postulados clásicos, para luego formular hipótesis para resolver estas contradicciones y finalmente resolver las contradicciones asumiendo las concepciones de la teoría cuántica y su consecuente verificación experimental.

Por otra parte, Fernández (2014) investiga los modelos adquiridos por los profesores de ciencias durante su formación y las posibles estrategias didácticas que faciliten una presentación sencilla de los temas la física cuántica. Propone desde un enfoque constructivista apoyar la enseñanza de la física cuántica en los modelos ya establecidos y los modelos didácticos que pueden construir los estudiantes y profesores. Se considera valioso el hecho de utilizar los modelos físicos para el estudio de la física cuántica como parte constituyente de los fundamentos de teoría científica, pero esto debe hacerse en estrecha relación con los conceptos y las leyes fundamentales (desde su formulación matemática), así como sus consecuencias más cercanas derivadas de la solución de las ecuaciones en sistemas cuánticos particulares.

Otras alternativas para la enseñanza de la física cuántica se basan en el empleo de analogías con las ondas clásicas en la enseñanza secundaria Arlego, Fanaro, y Galante (2020), en profundizar en la estructura atómica de la materia siguiendo el camino ontológico de desarrollo de la ciencia Muñoz, Solbes y Ramos (2019), en considerar las implicaciones sociocientíficas de los postulados de la física cuántica Solbes (2013) y en el estudio de la física cuántica a partir de las características de la radiación electromagnética Fanaro, Arlego y Elgue (2014).

En el estudio realizado encontramos antecedentes importantes para estructurar el curso de Mecánica Cuántica en la carrera de Licenciatura en Educación en la Opción de Física para la formación de profesores de acuerdo a la estructura de la teoría de la mecánica cuántica.

La teoría física es uno de los niveles de sistematicidad del conocimiento físico, de acuerdo con Pérez et. al. (2018) estos niveles incluyen los conceptos y modelos, las leyes y los principios físicos, las teorías y el cuadro físico del mundo.

La *teoría* es el sistema de conocimientos que explica el conjunto de los fenómenos de alguna esfera de la realidad y que agrupa todas las leyes que se encuentran en ese dominio bajo un elemento unificador. Sobre la base de la teoría es posible, explicar el comportamiento del objeto bajo determinadas condiciones concretas, así como pronosticar cómo se comportaría si se conocen tales condiciones. La teoría no implica la simple suma de las leyes existentes, sino que en toda teoría hay un núcleo que encierra un número relativamente pequeño de leyes esenciales generales y fundamentales de las que se derivan todas las demás leyes (Bugaev, 1989; Ramos y Rodríguez, 2018; Pérez et. al., 2018).

Las teorías desempeñan un papel esencial en la explicación de la realidad, surgen como generalización de la actividad cognoscitiva y de los resultados de la práctica, contribuyen a transformar la naturaleza y la vida social. Permiten hacer predicciones y obtener reglas de inferencia sobre el modelo, permiten explicar de manera sintética cierto conjunto de datos reales de la experiencia e incluso hacer predicciones sobre hechos diferentes a los de partida que serán observables bajo ciertas condiciones.

En toda teoría existirá un *fundamento* que contiene los fenómenos más importantes de los que se infieren las leyes del *núcleo*. En el fundamento aparecen también los conceptos (propiedades, magnitudes), de la teoría. Existe, por último, la *derivación*, que encierra todas las leyes secundarias e incluso algunas que aún no están

descubiertas, así como la aplicación de las leyes derivadas (Bugaev, 1989; Ramos y Rodríguez, 2018; Pérez et. al., 2018).

Una buena teoría ha de ser capaz de realizar predicciones posteriormente confirmadas mediante nuevos experimentos u observaciones. Esto quiere decir que amplía el campo explicativo de teorías anteriores.

En las teorías se sigue el siguiente camino lógico:

Basados en las ideas fundamentales del cuadro mecánico cuántico del mundo que establecen la unidad de las propiedades corpusculares y ondulatorias, las transformaciones mutuas entre el campo y la sustancia, la unidad indisoluble entre el espacio y el tiempo, la causalidad estadística y las cuatro interacciones fundamentales de la naturaleza (Pérez et. al. 2018). Los autores de este artículo estructuran la teoría de la mecánica cuántica como se muestra a continuación.

Fundamentos o bases fundamentales

- Hipótesis de Planck sobre el carácter discreto de la radiación electromagnética y teoría de Einstein acerca de los fotones.
- Calidad cuántica de algunas grandezas físicas (impulso e energía), que caracterizan en determinadas condiciones el estado de las micropartículas.
- Fenómenos de radiación del cuerpo negro y efecto fotoeléctrico.
- Modelo de cuerpo negro.
- Conceptos de emitancia energética, poder emisivo espectral, masa e impulso del fotón.
- Carácter discreto de la radiación electromagnética. Estructura discontinua de los átomos. Estados estacionarios. Modelos atómicos.
- Propiedades ondulatorias de las partículas subatómicas.
- Leyes de la radiación térmica: Ley de Stefan-Boltzmann y ley de Wien.
- Leyes empíricas del efecto fotoeléctrico.
- Postulados de Bohr.
- Contradicciones entre la teoría de la electrodinámica clásica y los resultados experimentales sobre la radiación térmica (catástrofe ultravioleta) y el efecto fotoeléctrico.
- Experimentos de Stoliétov, de Rutherford, de Franck y Herzt, de Davisson y Germer y de Thomson.
- Constante de Planck.

Núcleo de la teoría

- Hipótesis de Louis De Broglie. Significado probabilístico de la onda de De Broglie. Función de onda.
- Ecuación de Schrödinger. Estados estacionarios.
- Principio de incertidumbre de Heisenberg y principio de superposición de estados.

Consecuencias o leyes derivadas

- Pozo de potencial. Efecto túnel.
- Oscilador lineal armónico.
- Movimiento de una partícula en un campo de fuerzas centrales. Principio de exclusión de Pauli. Sistema periódico de Mendeléiev.
- Leyes de conservación en la Mecánica Cuántica.

A partir de la estructura de la teoría de la Mecánica Cuántica que se propone es posible concebir el curso de Mecánica Cuántica para el cuarto año de la carrera de Licenciatura en Educación en la Opción de Física como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1.

Bié en Angola. Se trabajó con una muestra intencional de 36 estudiantes en el año 2019 y 18 estudiantes en el año 2020, que constituyen la totalidad de estudiantes de estos grupos.

En la prueba pedagógica se evaluaron los siguientes indicadores:

1. Conocimiento de las ideas fundamentales de la Mecánica Cuántica (hipótesis de Planck e ideas de Einstein sobre los fotones).
2. Aplicación de la hipótesis de De Broglie y del principio de incertidumbre de Heisenberg a la solución de problemas.
3. Aplicación de la ecuación fundamental de la Mecánica Cuántica a los sistemas estudiados (pozo de potencial rectangular, oscilador lineal armónico y a un electrón que se mueve en el campo central de fuerzas de un átomo) a la solución de problemas.

Cada uno de los indicadores se evalúa en una escala ordinal de 0 a 20 valores y se determina el valor medio para obtener una única puntuación para cada estudiante. Los resultados de la prueba pedagógica alcanzados en los años lectivos 2019 y 2020 aparecen en las tablas 2 y 3.

Tabla 2.

Resultados de la prueba pedagógica en el año lectivo 2019. Elaboración propia.

TABLA 2

Índice cualitativo	Intervalo cuantitativo	Valor medio de los três indicadores	%
BAJO	0-9 valores	0	0
MEDIO	10-15 valores	31	86,1
ALTO	16-20 valores	5	13,9

Tabla 3.

Resultados de la prueba pedagógica en el año lectivo 2020. Elaboración propia.

TABLA 3

Índice cualitativo	Intervalo cuantitativo	Valor medio de los três indicadores	%
BAJO	0-9 valores	0	0
MEDIO	10-15 valores	16	88,8
ALTO	16-20 valores	2	11,1

El análisis de estos resultados, permite constatar que el mayor porcentaje de los estudiantes muestreados una vez concluido el curso, alcanza el nivel medio de dominio de los conocimientos y habilidades evaluados. Desde el punto de vista cualitativo, las mayores dificultades se aprecian en caracterizar el estado de la micropartícula a través de la función de onda en casos particulares (pozo de potencial rectangular), en la aplicación mecanicista de las ondas de De Broglie, sin lograrse una interpretación cualitativamente diferente a las concepciones clásicas, así como en reconocer las relaciones de indeterminación en situaciones concretas. No se aprecian con la metodología utilizada para el análisis de los resultados diferencias significativas entre los dos períodos estudiados y los resultados se consideran adecuados de acuerdo a las exigencias del programa de estudio de la carrera en el contexto angolano.

CONCLUSIONES

El estudio realizado permitió constatar que constituye una necesidad en la actualidad profundizar en la concepción del curso de Mecánica Cuántica para la formación de profesores en la universidad a partir de la estructura de la correspondiente teoría física. Esto permitiría mayor sistematización de los conceptos, leyes e ideas fundamentales y evitaría la mezcla incoherente de ideas clásicas y cuánticas, así como poder revelar su surgimiento ontológico e histórico lógico. Esta concepción favorecería la solución de algunas de las dificultades que presentan los estudiantes en el aprendizaje de los contenidos relacionados con la física cuántica.

A partir de las ideas del cuadro mecánico cuántico del mundo es posible concebir la teoría de la Mecánica Cuántica integrada por los fundamentos o bases fundamentales, dentro de estos se destacan las ideas de Planck sobre el carácter discreto de la radiación electromagnética, la teoría de Einstein sobre los fotones, la calidad cuántica de algunas magnitudes físicas, el carácter ondulatorio del comportamiento de las micropartículas, así como los conceptos, modelos, constantes y leyes asociadas a estas ideas básicas.

La concepción del curso de Mecánica Cuántica tomando como fundamento la estructura de esta teoría física se estructura de acuerdo a la lógica de partir de los fundamentos e ideas fundamentales (hechos, conceptos, modelos) para luego deducir las leyes e ideas fundamentales, de las que se deducen las principales aplicaciones y consecuencias.

Los resultados de la aplicación en la práctica de la concepción asumida, permite constatar que el mayor porcentaje de los estudiantes muestreados a través de una prueba pedagógica, alcanza un nivel medio de dominio de los conocimientos y habilidades evaluados. Desde el punto de vista cualitativo, las mayores dificultades se aprecian en caracterizar el estado de la micropartícula a través de la función de onda en casos particulares, en la aplicación mecanicista de las ondas de De Broglie, sin lograrse una interpretación cualitativamente diferente a las concepciones clásicas, así como en reconocer las relaciones de indeterminación en situaciones concretas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arlego, M., Fanaro, M. y Galante, L. (2020). Quantum physics from waves: An analogy-based approach for high school. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 43 (2), 10-22.
- Fanaro, M., Arlego, M. y Elgue, M. (2014). The double slit experience with light from Feynman's Sum of Multiple Paths viewpoint. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 36 (2), 1-7.
- Fernández, P. E. (2014). Teorías y modelos en la enseñanza aprendizaje de la Física Moderna. [Tesis de Doctorado]. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- González, E. M., Muñoz, Z. E. y Solbes, J. (2020). La enseñanza de la física cuántica: una comparación en tres países. *Góndola, enseñanza y aprendizaje de las ciencias*, 15 (2), 239-250. DOI: <https://doi.org/10.14483/23464712.15619>
- Gil, D. y Solbes, J. (1993). The education of modern physics overcoming a deformed vision of science. *International Journal of Science Education*. Londres, 15 (3), 255-260. <https://doi.org/10.1080/0950069930150303>
- Krijtenburg, L. E. (2019). Key topics for quantum mechanics at secondary schools: a Delphi study into expert opinions. *International Journal of Science Education*. Londres, 41 (3), 349-366. <https://doi.org/10.1023/A:1025382113814>
- Martin, J. y Martin, A. (2012). La Mecánica Cuántica y la necesidad de introducirla en los planes de estudio. *Revista de la Escuela de Ingeniería y Tecnología. REIT*, No. 1, 18-29. <https://doi.org/10.29151/reit.n1a2>.
- Pérez P., N. P., Rivero P., H., Ramos B., J. M., Sifredo B., C. y Moltó G., E. (2018). *Didáctica de la Física I*. La Habana: Editorial Félix Varela.

- Ramos, J. M. y Rodríguez, L. E. (2018). Dinámica interna del contenido del proceso de enseñanza aprendizaje de la Física. (Inédito).
- Rodríguez, L. E. & Rodríguez, M. C. (2018). Evaluación de cualidades del pensamiento de estudiantes de Matemática-Física al ingreso a la universidad. *Revista Actualidades Investigativas en Educación*. 18 (2), 1-23. <https://doi.org/10.15517/aie.v18i2.33036>
- Rodríguez, L. E., Gaio, J. M. y Chamizo, Y. (2021). Las habilidades experimentales en la enseñanza-aprendizaje de la física general en la formación de profesores. *Revista Educación y Sociedad*. 19 (2), 20-35.
- Solbes, J. (2013). Contribución de las cuestiones sociocientíficas al desarrollo del pensamiento crítico (II). Ejemplos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*. Cádiz, 10 (2), 171-181. DOI: http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2013.v10.i2.03
- Solbes J. y Sinarcas, V. (2010). Una propuesta para la enseñanza aprendizaje de la Física Cuántica basada en la investigación en Didáctica de las Ciencias. *Revista Enseñanza de la Física*, 21 (1 y 2), 57-84.
- Solbes, J. (2018). El modelo cuántico del átomo. Dificultades de comprensión y propuestas para su enseñanza. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, Barcelona, No. 93, 26-33.
- Vicario, J. y Venier, F. (2010). La enseñanza de la Física Moderna, en debate en Latino América. *Revista Argentina de Enseñanza de la Ingeniería*. No. 20, 45-58.
- Yavorski, B. M. y Detlaf, A. A. (1985). *Prontuario de Física*. Editorial Mir. Moscú.