

# Un proceso de enseñanza-aprendizaje sobre fenómenos duales en la educación media



Aarón Segura, Viviana Nieto y Esteban Segura

Departamento de Física, Universidad Pedagógica Nacional, Calle 72 No.11-86.  
Bogotá, Colombia.

E-mail: segurac7@gmail.com

(Recibido el 12 de Junio de 2012; aceptado el 30 de Agosto de 2012)

## Resumen

Nuestro interés por entender el universo microscópico e intentar dar explicación al mismo, nos ha llevado a determinar la búsqueda de un lenguaje a partir del cual la labor docente adquiera el propósito de generar condiciones para conocer en los estudiantes, permitiéndoles vivenciar la actividad de organizar los hechos, los acontecimientos, lo que sucede y lo que se observa en los fenómenos naturales de una manera simplificada e intuitiva. Por esta razón, este trabajo pretende ser un material educativo que sirva de complemento a la actividad docente, mostrando cómo a través de un proceso de conocimiento de la naturaleza, se fortalecen, mejoran y promueven los pensamientos científicos en la escuela.

**Palabras clave:** Procesos de enseñanza-aprendizaje, fenómenos duales, ondas de materia, fotón.

## Abstract

Our interest to understand the microscopic universe and try to give explanation to it, has led us to determine the search for a language from which teaching will acquire as its purpose to create conditions of knowing in the students, allowing them to experience the activity of organizing facts, events, what happens and what is observed in natural phenomena in a simplified and intuitive way. For this reason, this research aims to be an educational material that could be used in addition to teaching activity, showing how through a process of knowledge the nature, the scientific thinking is strengthened, improved and promoted in school.

**Keywords:** Teaching-learning processes, phenomena dual matter waves, photon.

**PACS:** 03.65.Ta, 01.40.gb, 01.30.la, 42.66.Lc, 01.50.-I

**ISSN 1870-9095**

## I. INTRODUCCIÓN

Los fenómenos duales de la luz y la materia constituyen uno de los puntos cruciales para el entendimiento de la mecánica cuántica, pues estas formulaciones son la base para abordar problemas tales como la medición, la superposición, la probabilidad, entre otros [1, 2]. Sin embargo, en los productos de labor científica (papers, textos, artículos, etc.) siempre aparecen los resultados en forma refinada [1, 3], ocasionando que el estudiante vea los fenómenos del universo microscópico como algo anti-intuitivo, confuso y de difícil comprensión [4, 5] ya que no se evidencia una relación que conecte los conceptos clásicos y los conceptos cuánticos ni una secuencia de eventos que describa cómo se va logrando el proceso de conocimiento de un concepto desde lo clásico a lo cuántico [6].

Nótese, de acuerdo a lo anterior, que los métodos de enseñanza de la física requieren una revisión profunda, ya que los índices estadísticos muestran que la física en general es una materia incomprensible y apática para los alumnos, teniendo en cuenta que generalmente se tiene un método tradicional (conductista) donde los alumnos se convierten en receptores pasivos de la información que se le

proporciona [7, 8]. Es decir, la enseñanza tradicional se ve limitada esencialmente, porque en muchas escuelas los maestros no utilizan herramientas teóricas y/o experimentales para desarrollar su práctica docente de manera estratégica, donde los alumnos dentro de la clase tengan la posibilidad de desarrollar diferentes actividades, como leer artículos de divulgación científica, realizar proyectos caseros, generar debates de carácter científico etc. [8, 9].

En el presente artículo se describe nuestro interés por entender el universo microscópico e intentar dar explicación al mismo, por lo cual se quiere determinar la búsqueda de un lenguaje a partir del cual la labor docente adquiera el propósito de generar condiciones para conocer en los estudiantes, permitiéndoles vivenciar la actividad de organizar los hechos, los acontecimientos, lo que sucede y lo que se observa en los fenómenos naturales de una manera simplificada e intuitiva. Por esta razón, este trabajo pretende ser un material didáctico educativo que sirva de complemento a la actividad docente, mostrando cómo a través de un proceso de conocimiento de la naturaleza conceptos cuánticos tan complejos pueden ser llevados claramente a los estudiantes de educación media.

El artículo está organizado de la siguiente manera: En la sección II se describe detalladamente cómo se generan los procesos de enseñanza en el aprendizaje de la física, teniendo en cuenta el gran desarrollo que ha tenido la ciencia en los últimos tiempos. En la sección III se analiza la explicación de Luis de Broglie acerca de las ondas de materia, donde se enfatiza en el paralelismo entre el movimiento de una partícula y la propagación de la onda asociada que gobierna su movimiento. En la sección IV se describen ejemplos sobre fenómenos duales. En la sección V se explica la transición de los conceptos científicos en mecánica cuántica y finalmente en la sección VI presentamos nuestras conclusiones.

## **II. UN PROCESO DE ENSEÑANZA EN EL APRENDIZAJE DE LA FÍSICA**

El gran desarrollo de la ciencia ha conllevado a la escuela a fortalecer, mejorar y promover los pensamientos científicos mediante la formación de ambientes escolares acogedores y bien dotados para la enseñanza, el aprendizaje y la investigación [9].

La tarea de transformar la escuela mediante la construcción de instrumentos pedagógicos, conceptuales, sociológicos y didácticos, ha permitido avanzar en la reorganización de nuevos currículos, la cualificación de los maestros, la transformación de planes de estudios etc. Con el fin de formar seres humanos integrales, autónomos y responsables de sus proyectos de vida, capaces de aprender a hacer, aprender a coexistir y aprender a ser en determinado contexto [9, 10].

Desde hace varios años, la enseñanza de las ciencias en especial la física, ha estado signada por diversas propuestas de innovación (la transmisión-recepción de conocimientos como garantía de un aprendizaje significativo, la utilización del computador en la enseñanza de la física, las prácticas de laboratorio como base del aprendizaje por descubrimiento, las propuestas constructivistas como eje de transformación de la enseñanza de la física, etc.), algunas de ellas fundamentadas teóricamente, otras responden a intuiciones muy generalizadas mientras la gran mayoría responde a un conductismo marcado [7, 10]. Por tal razón, es indispensable generar ambientes educativos donde el docente imprima a sus estudiantes una orientación a la educación científica, genere una cultura investigativa en los estudiantes para que adquieran hábitos de lectura y producción científica, diseñe estrategias de resultado que garanticen el aprendizaje del alumno, funda la necesidad de elaborar un trabajo de retroalimentación donde los alumnos desarrollen las habilidades, competencias, destrezas, saberes y conocimientos que la sociedad requiere [7].

Una propuesta de enseñanza en el campo de la física está dada por el enfoque histórico cultural, ya que este enfoque asume al educando como centro del proceso de enseñanza aprendizaje, quien construye y reconstruye el conocimiento por medio de operaciones y actividades que se realizan en interacción social [11]. Proceso en el cual el

objeto de aprendizaje pasa por una serie de procesos cognoscitivos que promueven el desarrollo pleno del sujeto. Es decir, el aprendizaje se produce por medio de la actividad histórico-cultural de la sociedad y en interacción social con otros sujetos, donde el intercambio y las relaciones sociales juegan un papel afectivo muy importante en la connotación personal de lo que se aprende y en el desarrollo de las habilidades que viabilizan el intercambio con los demás y el desarrollo del propio sujeto [12, 13].

Según Vygotsky, el aprendizaje se produce mediante una interacción social, cuya interacción, es lo que nos proporciona verdaderos conocimientos. Luego, como las funciones psicológicas superiores se originan desde el contexto social y toda interacción social conduce a un proceso psicológico superior (conocimiento), nos vemos obligados como docentes a crear ambientes sociales de desarrollo que estimulen el aprendizaje en los estudiantes de manera consciente y voluntaria [7].

Por su parte, Carretero argumenta, que los aspectos cognitivos de todo individuo no son un mero producto del ambiente ni un simple resultado de sus disposiciones internas, sino una construcción que se va produciendo día a día como resultado de la interacción con el medio y la sociedad que le rodea [14].

Según Wertsch, toda acción humana se ubica en ámbitos culturales, históricos e institucionales. Por lo tanto, son las tradiciones culturales y las prácticas sociales las que regulan, transforman y garantizan un proceso cognitivo en el individuo. Wertsch, destaca la importancia del trabajo cooperativo y la enseñanza recíproca entre pares [7].

Uno de los problemas que enfrentamos en la escuela, es que los docentes no le atribuyen al “maravilloso” lenguaje de las ciencias un significado que tenga sentido personal para el estudiante. El aprendizaje de la ciencia y específicamente el aprendizaje de la física tendrá significado y sentido para el estudiante si se toma como base para la apropiación de los conocimientos los que ya forman parte de su estructura cognitiva y tiene una base vivencial para ellos, es decir sus ideas previas, las cuales responden a su contexto cotidiano [11, 13].

Según Brown, Collins y Duguid, el aprendizaje escolar es en gran medida un proceso de aculturación, donde los alumnos pasan a formar parte de una especie de comunidad donde existe una negociación mutua de aprendizajes Alumno-Docente, Alumno-Alumno y Alumno-Medio [7].

## **III. CONTINUIDAD Y DISCONTINUIDAD EN LA MATERIA Y LA RADIACIÓN**

En 1924, Louis de Broglie sugirió que se le asociase a las partículas, específicamente a los electrones una propiedad ondulatoria, por lo cual postuló que tanto para la materia como para la radiación se introdujera simultáneamente el concepto de partícula y el concepto de onda de tal forma que existiera un paralelismo entre el movimiento de una partícula y la propagación de la onda asociada que gobierna

su movimiento. Teniendo en cuenta que toda partícula que se mueve crea a su alrededor una onda denominada onda de materia.

Sin embargo, en algunos productos de labor científica (papers, artículos, textos, etc.) no se evidencia una explicación consistente ¿Cómo dos conceptos netamente excluyentes la onda y la partícula que presentan incompatibilidad desde la física clásica, son compatibles y se comportan como uno solo desde la teoría cuántica? [15]. Tampoco se explica satisfactoriamente ¿Por qué desde la física clásica se habla de una continuidad de la materia y la energía mientras que cuánticamente hablamos de la forma discreta de la materia y la energía?. Finalmente, no se explica cómo la predicción de fenómenos puede darse clásicamente debido a las propiedades intrínsecas medibles de los cuerpos, mientras que en la teoría cuántica no puede darse esta predicción porque se presenta probabilidad y aleatoriedad en la medida [16]. Es decir, el hecho de que un electrón tenga masa y cantidad de movimiento (propiedades corpusculares), pero también una longitud de onda (propiedad ondulatoria), supone que en una colisión con otro electrón, predomine el comportamiento corpuscular de ambos. Pero también ocurre que un haz de electrones se difracta cuando pasa por una pequeña rendija incluso aunque se lancen de uno en uno, de manera que el resultado observado en la pantalla no es fruto de un proceso estadístico producido por la incidencia de un número elevado de electrones, sino que realmente cada electrón interfiere consigo mismo [6, 15].

Nótese, que en estos cuestionamientos no se evidencia un puente que conecte los conceptos clásicos y los conceptos cuánticos, lo cual hace que el alumno vea el mundo microscópico como algo anti-intuitivo, confuso y de difícil comprensión [1, 6, 15].

## IV. EJEMPLOS SOBRE FENÓMENOS DUALES

### A. Identidad dual del fotón

Una partícula elemental de masa nula responsable de las manifestaciones cuánticas del fenómeno electromagnético y portadora de todas las formas de radiación, nos ofrece una primera noción del comportamiento dual de la luz y la materia.

Un fotón tiene un comportamiento corpuscular cuando colisiona con otro fotón, o como ocurre en el efecto fotoeléctrico, con partículas (electrones, protones, etc.). Pero un haz luminoso (un haz de fotones) manifiesta un comportamiento ondulatorio (onda electromagnética) cuando se difracta, se polariza o produce interferencias luminosas [17, 18]. Es decir, el fotón presenta tanto propiedades corpusculares como ondulatorias. Se comporta como una onda en fenómenos como la refracción que tiene lugar en una lente, o en la cancelación por interferencia destructiva de ondas reflejadas; sin embargo, se comporta como una partícula cuando interacciona con la materia para transferir una cantidad fija de energía [3, 15].

### B. Carácter dual de la reflexión de la luz

Alastair, muestra que es posible una interpretación probabilística de fenómenos duales, desde varios experimentos mentales que confirman su existencia [19]. Uno de ellos es la reflexión de la luz por un espejo con una superficie perfectamente conductora.

De acuerdo a la teoría ondulatoria, si una onda estacionaria se forma en frente del espejo y se inducen corrientes en la superficie, la onda ejerce una fuerza sobre el espejo por la interacción del campo magnético en la onda con las corrientes inducidas. En caso de incidencia normal, la presión de radiación  $P$  viene dada por:

$$P = W. \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde  $W$  es la densidad de energía frente al espejo.

Razonemos el siguiente ejemplo: Considérese una fuente estacionaria de luz que emite fotones de frecuencia  $\omega$ . Si ésta luz incide perpendicularmente sobre un espejo en reposo en el sistema de referencia propio del foco luminoso, la teoría electromagnética clásica predice que la luz reflejada tendrá también la frecuencia  $\omega$  y que el flujo de energía que incide sobre el espejo es igual al flujo de energía que escapa de él. Además, según la teoría electromagnética clásica, la radiación ejercerá una presión sobre el espejo llamada presión de radiación.

Ahora, suponiendo que la intensidad de la radiación es la misma en todo el espejo, esta presión  $P$  vendrá dada por:

$$P = W. \quad (1)$$

Donde  $W$  es la densidad de energía del campo de radiación en la vecindad inmediata de la superficie reflectora.

Imaginemos ahora que  $\Phi$  es el flujo de radiación incidente, es decir,  $\Phi$  es la cantidad de energía que fluye al espejo por unidad de tiempo y por unidad de área perpendicular a la dirección de incidencia. Si análogamente, designamos por  $\Phi'$  al flujo de radiación reflejada, debemos tener que:

$$\Phi = \Phi'. \quad (2)$$

Luego, como en la unidad de tiempo la radiación recorre una distancia  $c$ , la densidad de energía  $W$ , debe ser:

$$W = \frac{\Phi}{c} + \frac{\Phi'}{c} = \frac{2\Phi}{c}. \quad (3)$$

Donde el primer término corresponde a la densidad de energía debida a la radiación incidente y el segundo término hace referencia a la radiación reflejada.

En consecuencia, el flujo y la presión de radiación están ligados entre sí por:

$$P = \frac{2\Phi}{c}. \quad (4)$$

O lo que es igual a:

$$P = W. \quad (\text{Ec. 1})$$

Ahora, si analizamos el modelo fotónico, tenemos que en este caso inciden sobre el espejo  $N$  fotones por unidad de tiempo con una energía:

$$E = \hbar\omega. \quad (5)$$

Y un impulso

$$p = \frac{\hbar\omega}{c}. \quad (6)$$

Después de chocar con el espejo, el impulso de cada fotón se invierte y por lo tanto, cada fotón cede al espejo una cantidad de impulso  $2p$ .

Cabe mencionar que en este modelo la presión de radiación se produce como consecuencia del bombardeo del espejo con fotones.

Como la presión de radiación  $P$  es igual a la cantidad de impulso cedida por unidad de tiempo a la unidad de área del espejo, tenemos que:

$$P = 2Np = 2N \frac{\hbar\omega}{c}. \quad (7)$$

Por otra parte, el flujo de energía  $\Phi$  viene dado simplemente por:

$$\Phi = N\hbar\omega. \quad (8)$$

Luego, la densidad de energía es:

$$W = 2N \frac{\hbar\omega}{c}. \quad (9)$$

Finalmente, dado que cada fotón se mueve con la velocidad de la luz.

Obtenemos que:

$$P = W. \quad (\text{Ec. 1})$$

Lo que significa que la reflexión de la luz en un espejo, presenta un carácter dual, es decir, el modelo fotónico es compatible con el modelo ondulatorio.

### C. Otros ejemplos donde se manifiestan los fenómenos duales

La formalización de los fenómenos duales permite establecer las relaciones o vínculos que hacen surgir algunas propiedades que van de acuerdo al tipo de aparato con el que se mide (Experimento de Stern-Gerlach, el efecto fotoeléctrico, la difracción de electrones, la doble rendija, la traza de partículas, la dualidad onda-partícula). Así, dependiendo del aparato de medida se obtendrán partículas o difracción de ondas en una pantalla, que muestran e identifican un fenómeno dual en particular [5, 20, 24]

## V. CONCLUSIONES

Se ha ilustrado a través del artículo como todo proceso de enseñanza-aprendizaje de la mecánica cuántica requiere la búsqueda de un lenguaje a partir del cual la labor docente genere condiciones para conocer en los estudiantes, permitiéndoles vivenciar la actividad de organizar los hechos, los acontecimientos, lo que sucede y lo que se observa en los fenómenos naturales de una manera simplificada e intuitiva, logrando así distintas conceptualizaciones del universo microscópico.

## AGRADECIMIENTOS

Especial agradecimiento al Gimnasio Pedagógico Nuestra Señora De Fátima por permitarnos implementar el proyecto de investigación "Identificación de características incomprensibles de los fenómeno duales que afectan el desarrollo de aprendizaje en los estudiantes de educación básica y superior". Igualmente agradezco a los estudiantes de undécimo grado que nos colaboraron incesantemente en la ejecución del proyecto.

## REFERENCIAS

- [1] Dirac, P., *The Principles of Quantum Mechanics*, 4a Ed. (Clarendon Press, Oxford, 1958).
- [2] Everett, H., "Relative State" Formulation of Quantum Mechanics, *Rev. Mod. Phys.* **29**, 454-462 (1957).
- [3] Feynman, R., *El carácter de la ley física*, (Tusquets editors, Barcelona, 2000).
- [4] Laloë, F., *Do we really understand quantum mechanics? Strange correlations, paradoxes and theorems*, *Am. J. Phys.* **69**, 656-666 (2001).
- [5] Rosenfeld, L., *The Wave-Particle Dilemma*, In: *The Physical Conception of Nature* **Vol. 2**, 251-253 (1973).
- [6] Segura, A., Nieto, V., Segura, E., *Un análisis histórico del fenómeno dualidad onda partícula para la comprensión del mundo cuántico*, *Lat. Am. J. Phys. Educ.* **6**, 137-142 (2012).
- [7] Díaz Barriga, F., Hernández, G., *Constructivismo y aprendizaje significativo*, Universidad Nacional Abierta, (Mc Graw Hill, México, 1998), pp. 27-33.
- [8] Bachelard, G., *Epistemología*, (Editorial Anagrama, Barcelona, 1973).
- [9] Bruner, J., *Investigaciones sobre el desarrollo cognitivo*, (Pablo del Río, Madrid España, 1980).
- [10] Redish, E., *Implications of cognitive studies for teaching physics*, *Am. J. Phys.* **62**, 796-803 (1994).
- [11] Bernaza, G., Douglas, C. y Valle, M. del, *Orientar para un el aprendizaje significativo*, Revista Avanzada, Universidad de Medellín, Colombia (2000).
- [12] Braga, G. M., *Apuntes para la enseñanza de la geometría. El modelo de enseñanza aprendizaje de Van Hiele*, en *Signos, teoría y práctica de la educación*, N° 4, 52-57, julio-diciembre, (1991).

Aarón Segura, Viviana Nieto y Esteban Segura

[13] Carrascosa, J., Furió, C. y Valdés, P., "Las concepciones alternativas de los estudiantes y sus implicaciones didácticas", en *Temas escogidos de la didáctica de la Física*, (Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de La Habana, 1996).

[14] Carretero, M., *¿Qué es el constructivismo?*, *Desarrollo cognitivo y aprendizaje*, (Constructivismo y educación, Progreso, México, 1997), pp. 39-71.

[15] Feynman, R., *Física*, Vol. 3, (Pearson Education, México, 1963).

[16] Nairz, O., Amdt, M. & Zeilinger, A., *Quantum interference experiments with large molecules*, *Am. J. Phys.* **71**, 319-325 (2003).

[17] Kozhevnikov, A., *La formula de fluctuación de Einstein y la Dualidad Partícula-Onda*, *Rev. El tambor de Feynman* **3**, 19-41 (2001).

[18] Matteucci, G. & Beeii, C., *An experiment wave particle duality including a Planck constant measurement*, *Am. J. Phys.* **66**, 1055-1059 (1988).

[19] Alastair, I. M. R., *Física cuántica: ¿Ilusión o Realidad?*, (Alianza Editorial, Madrid, 1989).

[20] Bao, L. and Redish, E., *Understanding probabilistic interpretations of physical systems: A prerequisite to learning quantum physic*, *Am. J. Phys.* **70**, 210-217 (2002).

[21] Singh, C., *When physical intuition fails*, *Am. J. Phys.* **70**, 1103-1109 (2002).

[22] Tipler, P., *Physics for scientist and engineers*, 4a Ed. (Reverté, Barcelona, 1999).

[23] Lynn, H. and Caponigro, M., *Quantum Formalism: Brief Epistemological Considerations*, e-print [quant-ph/0610228].

[24] Zeilinger, A., Ekert, A., Bouwmeester, D., *The Physics of Quantum Information*, 1a Ed. (Springer, Germany, 2001).