

*Interacción radiación – materia, a propósito del proceso de visión  
del ojo humano.*

*Mancera Pachón Jeimy Lizeth*

*Universidad Pedagógica Nacional*

*Facultad de Ciencia y Tecnología*

*Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales.*

*Bogotá D.C.*

*2021*

*Interacción radiación - materia a propósito del proceso de visión del  
ojo humano.*

*Jeimy Lizeth Mancera Pachón*

*Trabajo de grado para optar al título de Magister en Docencia de las  
Ciencias Naturales*

*Asesores:*

*Rozo Clavijo Mauricio*

*Ávila Torres Sandra Bibiana*

*Universidad Pedagógica Nacional*

*Facultad de Ciencia y Tecnología*

*Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales.*

*Bogotá D.C.*

*2021*

# Agradecimientos

*Quiero inicialmente, darle gracia a Dios por orientar este camino dándome la fuerza y la sabiduría para lógralo.*

*A mis padres, hermanos, compañero de vida, quienes me apoyaron en toda la carrera, por medio de sus palabras, sacrificios, el amor, fortaleza, compañía, complicidad y solidaridad ante los tropiezos de la vida, ante los momentos difíciles que me ayudaron a sobrellevar y el ejemplo que hoy hacen que todo este proceso haya sido exitoso y un orgullo para ellos.*

*Al profesor Mauricio Rozo Clavijo, un mérito a la paciencia y a la buena labor, una persona dedicada y orgullosa de su profesión, un corazón gentil capaz de orientar con la mayor precisión y garante de los mejores resultados, un agradecimiento infinito.*

*A la profesora Sandra Bibiana Ávila, por su apoyo incondicional, su sabiduría, perseverancia, por la confianza, el ánimo, que me permitieron luchar y creer en lo que hoy se materializa.*

*A mi hermosa hija AMÉLIE, su cariño, amor y ternura, que se convierte en el motor de vida que me hace esforzar día a día a ser mejor.*

# *Tabla de Contenido*

Resumen .....	1
Lista de figuras .....	3
Introducción.....	4
<b>CAPÍTULO 1: Contextualización de la investigación .....</b>	<b>6</b>
<b>Antecedentes .....</b>	<b>6</b>
<b>Planteamiento del problema.....</b>	<b>23</b>
<b>Pregunta problema.....</b>	<b>24</b>
<b>Objetivos .....</b>	<b>24</b>
<b>Objetivo general .....</b>	<b>24</b>
<b>Objetivos específicos .....</b>	<b>24</b>
<b>Metodología .....</b>	<b>25</b>
<b>CAPÍTULO 2: Obstáculos y problemas en el proceso de Enseñanza-Aprendizaje de la mecánica cuántica. ....</b>	<b>27</b>
<b>Necesidad de incluir la mecánica cuántica en diferentes niveles educativos. ....</b>	<b>31</b>
<b>La enseñanza de la mecánica cuántica. ....</b>	<b>33</b>
<b>CAPÍTULO 3: Caracterización y explicación del proceso de visión del ojo humano. ....</b>	<b>36</b>
<b>Funcionamiento del ojo humano.....</b>	<b>37</b>

<b>Transducción visual .....</b>	<b>42</b>
<b>Efecto fotoeléctrico .....</b>	<b>47</b>
<b>Efecto fotoeléctrico desde el contexto de la mecánica clásica.....</b>	<b>49</b>
<b>Efecto fotoeléctrico desde el contexto de la mecánica cuántica. ....</b>	<b>50</b>
<b>Fenómeno de fototransducción desde una mirada clásica. ....</b>	<b>51</b>
<b>Fenómeno de fototransducción desde una mirada cuántica: Comparación entre el proceso de visión y el efecto fotoeléctrico .....</b>	<b>52</b>
<b>Propuesta de cómo se debe llevar a álula de clase la mecánica cuántica.....</b>	<b>57</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>60</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>62</b>

# *Resumen*

Se realiza una reflexión en torno a la necesidad de mejorar las estrategias que se llevan al aula de clase a la hora de enseñar las ciencias naturales y particularmente la física moderna, adicionalmente se tiene la intención de introducir en los docentes cuestionamientos de ¿qué? y ¿cómo? se deben enseñar temas de la mecánica cuántica en diferentes niveles educativos.

Este trabajo está orientado en evidenciar los obstáculos y problemáticas que se presentan en los procesos de enseñanza de las ciencias naturales y, particularmente en la mecánica cuántica, es decir, se resaltan las dificultades que se generan en los procesos de enseñanza-aprendizaje al implementar el uso de modelos clásicos en la explicación de fenómenos a nivel atómico. La implementación de los modelos clásicos, en general, puede conllevar al estudiante a un condicionamiento sobre la perspectiva cuántica de los fenómenos.

Se reflexiona sobre la necesidad de incluir la mecánica cuántica en diferentes ámbitos educativos, no solo en cursos introductorios a nivel universitario, sino también, debe ser incluido en la educación media a nivel de bachillerato, con el fin de romper con el paradigma clásico que ha influido e imperado desde el siglo XVII hasta nuestros días.

Se aborda la explicación de la interacción radiación materia, a propósito del mecanismo de visión del ojo humano evidenciando el carácter discreto de la energía. Este análisis permite justificar la necesidad de incluir temas relacionados con la mecánica cuántica en los currículos de

ciencias naturales, ya que ésta proporciona una lectura más eficaz cuando se abordan fenómenos a nivel atómico.

## *Lista de figuras.*

<b>Figura 1. Modelos atómicos.....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 2. Representación de una flor, realizada por los estudiantes de grado decimo del colegio Celestin Freinet de Chía (2019).....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 3. Partes del ojo humano. ....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 4. Funcionamiento del ojo humano. ....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 5. Ubicación de las células Fotorreceptoras (conos y bastones) en el ojo. ....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 6. Representación esquemática de la rodopsina a nivel de la membrana de los discos del segmento externo de los bastones.....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 7. Absorción optima de conos y bastones por longitud de ondas. ....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 8. Transformación en el retinal 11-cis-retinal (forma inestable) a la forma todo-trans-retinal (forma más estable). ....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 9. Liberación de opsina y conexión con las células horizontales. Tomada de:.....</b>	<b>46</b>



# *Introducción*

En la actualidad los trabajos realizados con relación a la enseñanza de las ciencias, particularmente respecto a la enseñanza de la mecánica cuántica, ponen de manifiesto la preocupación por mejorar la calidad en los procesos de enseñanza- aprendizaje de la misma, generando una postura reflexiva entorno a buscar metodologías que contribuyan a optimizar dichos procesos, resaltando la necesidad de ser abordada en diferentes ámbitos educativos, no solo a nivel universitario, sino también incluirla en la educación básica y media.

Por lo tanto, el reto no solo está basado, en realizar una reflexión en torno a mejorar las estrategias que se llevan al aula de clase, sino también a introducir en los docentes cuestionamientos de ¿qué? y ¿cómo? se deben enseñar temas de la mecánica cuántica en diferentes niveles educativos. Por esta razón este trabajo se enfoca en hacer evidentes los siguientes aspectos:

- Los obstáculos y problemáticas que se presentan en los procesos de enseñanza de las ciencias naturales, particularmente en la mecánica cuántica.
- La necesidad de incluir la mecánica cuántica en diferentes ámbitos educativos.
- La explicación de la interacción radiación materia, a propósito del mecanismo de visión del ojo humano.

Teniendo en cuenta estos aspectos, la propuesta se encuentra estructurada de la siguiente forma:

En el primer capítulo se realiza una contextualización de la investigación y de la problemática que se va a desarrollar, destacando la necesidad de incluir la mecánica cuántica en el nivel de educación de básica y media, bajo el referente de algunos autores.

El segundo capítulo pone de manifiesto los obstáculos y problemáticas que se tienen en el proceso de construcción del conocimiento por parte de los estudiantes cuando se analizan fenómenos a nivel atómico desde un contexto clásico, resaltando así la necesidad de incluir la mecánica cuántica en diferentes ámbitos educativos.

En el tercer capítulo se realiza una descripción sobre la interacción - radiación materia inmersa en el proceso de visión del ojo humano, realizando un análisis a nivel macro y finalizándolo a nivel molecular. La interacción radiación materia se da en las células fotorreceptoras presentes en la retina, dejando en evidencia las desventajas presentes desde la mirada clásica a la hora de dar explicación a fenómenos a nivel molecular, consintiendo así la necesidad de incluir la enseñanza de la mecánica cuántica en la educación básica y media.

# **CAPÍTULO 1: Contextualización de la investigación**

Cuando se habla respecto a la enseñanza de las ciencias y puntualmente respecto a la enseñanza de la física moderna en la educación básica y media en Colombia, se destacan algunos aspectos importantes: el currículo establecido para el tipo de población, el tiempo que se le dedica en la jornada de clases, la formación de los docentes en las temáticas propuestas e incluso las herramientas, habilidades y la tecnología que llega a ser necesaria para “favorecer los procesos”. A partir de estos aspectos se ha incorporado la concepción de que la física moderna es difícil de comprender y que es necesario adquirir ciertas habilidades para que llegue a ser entendida.

Por lo tanto esta investigación en un primer momento se encuentra orientada en buscar información en torno a la enseñanza de la mecánica cuántica las problemáticas y obstáculos que se presentan a la hora de ser llevada al aula de clase en la educación básica y media, con el fin de evidenciar la necesidad de incluirla dentro de este contexto educativo, poniendo de manifiesto algunas estrategias que han desarrollado algunos investigadores en el tema, con el fin de mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje de la mecánica cuántica.

A continuación, se presenta la revisión de algunas investigaciones que permiten dar argumentos respecto a la necesidad de incluir algunos tópicos de la mecánica cuántica en la educación básica y media, también se incluyen algunas estrategias y recomendaciones que han utilizado algunos investigadores para realizar esta inclusión.

## **Antecedentes**

En las últimas décadas las investigaciones realizadas con relación a la enseñanza-aprendizaje de la física y particularmente de la mecánica cuántica, se han orientado a evidenciar el interés por

mejorar los procesos, resaltando algunas dificultades presentes en el ámbito educativo, como lo expone en su investigación (Moreira & Greca, 2004); una de las dificultades es, por ejemplo, la forma en como se ha planteado el currículo académico en nuestro país, el cual se encuentra inclinado a enseñar las teorías físicas desarrolladas hasta el siglo XIX, a pesar de los grandes progresos que han surgido a nivel científico en el siglo XX y los efectos de las teorías modernas en la evolución de la forma de pensar y conocer el mundo, los avances tecnológicos, etc.

Es importante resaltar que, en algunas instituciones educativas, se incluyen o se abordan ciertas temáticas relacionadas con la física moderna, sin embargo, estas son presentadas de una forma superficial o como simple información curiosa; esto se debe, a que no suelen ser objeto de interés por parte de los profesores, directivos o miembros de la comunidad académica del nivel de básica y media en general, enfatizando que, a partir de las directrices emanadas por el gobierno y el ministerio de educación, las directivas de cada institución educativa se encargan de establecer y determinar las temáticas y mallas curriculares en los diferentes niveles educativos de la educación básica y media, teniendo en cuenta los estándares de educación establecidos por el Ministerio de Educación Nacional. (Grajales, 2017)

Otro aspecto importante, que se aborda en las investigaciones orientadas a la enseñanza de las ciencias<sup>1</sup>, está enfocado en poner de manifiesto la pertinencia y viabilidad de abordar ciertos

---

<sup>1</sup> investigaciones como:

- **¿es posible hacer comprensible la mecánica cuántica?** por la Señora Ileana María Greca;
- **dificultades en el aprendizaje y la enseñanza de la física cuántica en el bachillerato** elaboraron los señores Vicent Sinarcas y Jordi Solbes
- **La enseñanza de la física moderna en la educación básica: una aproximación desde el principio de incertidumbre**, por Henry Grajales Echeverry.
- **Obstáculos representacionales mentales en el aprendizaje de los conceptos cuánticos**, por Moreira, M. A., & Greca, M. I.

Resaltando que estas solo son algunas de las tantas investigaciones que se han realizado y se continúan desarrollando en torno a mejorar los procesos de enseñanza aprendizaje de la mecánica cuántica en la educación.

tópicos de la física moderna en la educación básica y media, esto se debe, a que algunos profesores o instituciones educativas, consideran estas temáticas, como algo abstracto y complejo para los estudiantes de este nivel educativo, suponiéndolas incapaces de ser comprendidas y asimiladas por parte de los estudiantes. Existe incluso cierto rechazo o negación para abordar tópicos de física moderna en la educación básica y media por parte de los docentes, ya que consideran necesario tener algún tipo de habilidad excepcional, manipulación matemática o herramienta tecnológica más avanzadas, para poder dar explicación a estas temáticas, generando así fuente de rechazo a la hora de llevar estos contenidos al aula de clase. (Greca I. M., 2000)

Por lo tanto, las investigaciones en torno a la enseñanza de las ciencias y puntalmente de la física moderna, se han orientado en los últimos años a buscar y diseñar diferentes estrategias o alternativas que favorezcan los procesos de enseñanza - aprendizaje en el aula de clase, en niveles educativos de básica y media, e incluso en curso iniciales a nivel universitario.

A continuación, se revisan los trabajos e investigaciones relacionados con la enseñanza de la física moderna y puntalmente de la mecánica cuántica, que permiten evidenciar las diferentes estrategias que se están implementando en diversos contextos educativos y la importancia de abordar y llevar al aula de clase tópicos de la mecánica cuántica, especialmente en la educación básica y media en nuestro país.

En primer lugar, se tiene el artículo publicado en la revista enseñanza de la Física por Ileana María Greca, “*¿Es posible hacer comprensible la mecánica cuántica?*” En éste, presenta la idea de promover la inclusión de la enseñanza de la mecánica cuántica en los planes de estudio en los docentes en formación y en los estudiantes que se preparan en ámbitos relacionados con las ciencias naturales, abordando los fundamentos básicos de ésta.

En el documento se plantean las dificultades y las problemáticas que se han evidenciado al llevar la mecánica cuántica al aula de clase en el nivel de básica secundaria. En algunos países, como España, y en Latinoamérica Argentina, Colombia, entre otros, se encuentra latente y en discusión la necesidad de incluir la mecánica cuántica en el ámbito educativo de básica y media, presentando la propuesta de realizar una reforma curricular que permita abarcar tópicos de mecánica cuántica en el aula de clase; pero en otros países, como lo es el caso de los Estados Unidos, este debate ya se encuentra superado, y la discusión se enfoca en ¿Cómo? y en ¿Qué? enseñar de la mecánica cuántica, resaltando que los conceptos de la mecánica cuántica deben ser incluidos de una forma natural en los cursos introductorios de física con el fin de que los estudiantes se familiaricen con la manera de proceder desde el contexto cuántico. **(Greca I. M., 2000).**

En consecuencia, se señala que es importante revisar la forma de llevar al aula de clase, la enseñanza de la mecánica cuántica, ya que, se ha podido evidenciar que en la mayoría de los cursos introductorios donde se abordan temas relacionados con la mecánica cuántica, su planteamiento inicial se hace desde una perspectiva histórica, mostrando las diferentes situaciones que se fueron presentando y conllevaron al origen de la física moderna y de la mecánica cuántica, pero sin profundizar en la problemática de cada situación particular, y porque no podían ser explicada bajo la teoría clásica. **(Greca I. M., 2000)**

El artículo brinda herramientas, que permiten realizar una reflexión desde la perspectiva de la educación en nuestro país, en la cual, en la mayoría de los casos, a la hora de abordar temas relacionados con la mecánica cuántica, se inicia a partir de un barrido histórico sobre los diferentes experimentos cruciales que se dieron a finales del siglo XIX y comienzo del XX, con el fin de lograr en los estudiantes una aceptación “obvia” principalmente sobre la cuantización de la

energía, lo limita el análisis sobre las bases originales que se proporcionaron para la propuesta de dichos experimentos, además de la interpretación que se hace de éstos.

En el documento se señala que, posterior a realizar el abordaje histórico, los docentes proceden a exponer los diferentes modelos atómicos, con sus respectivas representaciones, sin llegar a profundizar en los principales aspectos y las explicaciones que estos modelos podían brindar en su momento, enfocándose en la explicación del modelo de Bohr. Este abordaje genera una serie de condicionamientos y representaciones mentales en los estudiantes, entorno a la estructura de la materia, ocasionando dificultades y problemas a la hora de comprender y analizar el modelo atómico moderno, donde el estudiante no podrá realizar una representación gráfica de cómo es un átomo tal como en los modelos anteriores.

Un aspecto tratado en el artículo, importante señalar, es que en algunos casos los docentes a la hora de enseñar tópicos de la mecánica cuántica en la educación básica y media se enfocan en el formalismo matemático, dejando de lado la interpretación y el análisis, que justamente, es el que brinda argumentos válidos de la diferencia de visión entre la mecánica clásica y la mecánica cuántica. Al no dar prioridad sobre los aspectos analíticos de la manera de proceder en mecánica cuántica, se presenta una marcada tendencia a hacer énfasis en la manipulación de algoritmo matemático dejando de lado el sentido y significado de los conceptos en los que se fundamenta. **(Greca I. M., 2000)**

En efecto, con lo anterior, el formalismo matemático, no garantiza por sí solo la construcción de significados; no necesariamente conlleva o genera como consecuencia que los conceptos sean comprensibles, es decir, un estudiante puede operar de manera eficiente y manipular

adecuadamente los algoritmos y ecuaciones, sin llegar a comprenderlos y saber qué se está haciendo o qué significado pueden tener dentro de un contexto físico.

A causa de estas y otras dificultades que se pueden presentar en los procesos de enseñanza-aprendizaje de la mecánica cuántica en la educación básica y media, se genera la necesidad en el sector educativo, de realizar una reflexión en torno a cómo se pueden mejorar estos procesos y que estrategias se pueden implementar en este nivel educativo.

Por su parte (**Greca I. M., 2000**) plantea como propuesta realizar un abordaje de la mecánica cuántica de una forma distinta, trazando como estrategia la interpretación y significado de los conceptos fundamentales sin hacer una aplicación instrumental de la mecánica cuántica, resaltando que estos tópicos no deben ser sumados a un curso tradicional de física, como simple información o contextualización entre la mecánica clásica y la física moderna, sino por el contrario, deben ser expuestos de tal forma que el estudiante se familiarice con los conceptos, encontrando un sentido y significado de ellos. Esto se puede dar a partir de diferentes situaciones en nuestro entorno, la mecánica cuántica se encuentra inmersa y tiene un gran impacto en los avances tecnológicos de las últimas décadas de forma que se puede relacionar con la informática, las telecomunicaciones, así como su aplicabilidad en la medicina, química, etc.

Otra investigación que da elementos en relación con la necesidad de incluir temas de la mecánica cuántica en la educación es la realizada por Marco Antonio Moreira e Iliana María Greca, "*Obstáculos representacionales mentales en el aprendizaje de los conceptos cuánticos*". En éste se plantea la afirmación Ausbeliana en el que sólo se puede aprender a partir de aquello que ya se sabe, es decir, cuando los estudiantes adquieren una nueva información, ésta tiene significado para



ellos dada la interacción con algún concepto previamente obtenido, de tal forma que el estudiante afianza la nueva información con lo que ya sabe. **(Moreira & Greca, 2004)**

La afirmación planteada en el documento se basa en el argumento de que los estudiantes aprenden a partir de lo que ya saben, y ha sido fuertemente aplaudida desde el ámbito pedagógico como estrategia para facilitar el aprendizaje de los estudiantes. Sin embargo, se muestra que no es la más adecuada para la enseñanza- aprendizaje de la mecánica cuántica, debido a que los fenómenos a nivel atómico no son evidentes para los estudiantes y, por lo tanto, no pueden hacer una representación mental de éstos, además, los conceptos de la mecánica clásica no tienen sentido cuando se hace un análisis de los fenómenos atómicos.

Desde el documento también se plantea la incursión mediante el aprendizaje significativo, en la que se evidencia el uso de conceptos de mecánica clásica para generar significados en la mecánica cuántica, es decir, se trata de crear un puente entre los conceptos utilizados en mecánica clásica y mecánica cuántica. Esta estrategia condiciona a los estudiantes con un enfoque clásico y con una manera clásica de conocer, recurriendo el estudiante en todo momento, a un pensamiento clásico para dar explicación a fenómenos a nivel atómico, lo que genera dificultades en la comprensión de éstos.

Un ejemplo, de estas dificultades que se pueden dar, son las representaciones mentales que se generan desde el contexto de la mecánica clásica, ya que están encaminadas a que los estudiantes puedan asignar formas, tamaño, o simplemente a que establezcan una geometría al objeto de estudio, es decir que, debe tener unas dimensiones y estructuras definidas y a partir de ellas y su entorno se puede describir su naturaleza y comportamiento.

Por lo tanto, este condicionamiento que se genera desde el contexto de la mecánica clásica ocasiona un conflicto y posiblemente dificultades, a la hora de exponer la forma de entender y describir los comportamientos de la naturaleza desde la perspectiva que ofrece la mecánica cuántica, ya que estas dos teorías ofrecen miradas totalmente diferentes. En esta nueva forma de comprender nuestro entorno, esas representaciones mentales no son tan fáciles de lograr o simplemente no se pueden realizar, lo que conlleva a promover en los estudiantes, errores conceptuales o ideas inadecuadas para la comprensión de la teoría moderna.

En el caso de la mecánica cuántica, en diferentes investigaciones realizadas por Moreira y Greca, entre otros, en torno a los procesos de enseñanza-aprendizaje, se han encontrado evidencias relacionadas a que no es adecuado el uso de preconceptos de la mecánica clásica a la hora de dar explicación de algunos conceptos de la mecánica cuántica (superposición de estados dualidad onda partícula, distribuciones de probabilidad, etc.), ya que a la hora de realizar la conexión de los conceptos previos (ideas de la mecánica clásica), con los nuevos conceptos (ideas provenientes de la mecánica cuántica), a los estudiantes no se le facilita generar significados implícitos, es decir, no pueden ser representados adecuadamente, ya que este nuevo conocimiento no se deriva o es una evolución del conocimiento previo, generando como consecuencia la inhibición o adquisición de nuevo conocimiento. **(Moreira & Greca, 2004)**

Por tal razón, la enseñanza de la mecánica cuántica debe estar orientada a la formación de concepciones nuevas, es decir, lo aprendido debe ser la elaboración, extensión o modificación de un concepto, por ejemplo, un corpúsculo, no debe ser entendido como un cuerpo pequeño, no es un fragmento de sustancia, no se le debe atribuir dimensiones, geometría, lo único que se le puede asociar es su influencia: el efecto que puede producir en su entorno. Por lo tanto, un corpúsculo

solo es real en términos de la perturbación que hace a su entorno, el espacio que lo rodea y con el que interactúa.

A propósito de esto, Moreira y Greca plantea que hay dos formas o estrategias de llevar la mecánica cuántica al aula de clase:

**1. Establecer relaciones entre la mecánica clásica y la mecánica cuántica:**

Esta estrategia consiste en enfatizar y destacar los aspectos comunes y las relaciones que se pueden dar entre la física clásica y la moderna, es decir, la idea es conseguir que los estudiantes se familiaricen con los límites entre la mecánica clásica y la mecánica cuántica, utilizando estos preconceptos y los puedan extender a los temas abordados desde la mecánica cuántica.

**2. Presentar la mecánica cuántica totalmente desligada y sin ningún tipo de relación con la mecánica clásica:**

En esta estrategia se debe evitar utilizar referencias de la mecánica clásica, por consiguiente, Moreira y Greca plantean como estrategia de enseñanza, no condicionar a los estudiantes con un pensamiento clásico, es decir, es necesario propiciar que los estudiantes lleguen al análisis e interpretación de fenómenos cuánticos sin utilizar conceptos clásicos, dejando de lado las ideas previas y puntualizando en los aspectos más importantes para la descripción del fenómeno desde el punto de vista cuántico. En este sentido, se debe evitar (Moreira & Greca, 2004) :

- Relaciones o semejanzas con los conceptos de la mecánica clásica.
- Iniciar con la exposición de los modelos atómicos clásicos.
- Dar explicación de los fenómenos a partir de un razonamiento estadístico y no con una relación dualista.

- Explicar en la medida de lo posible el principio de incertidumbre.

Este tipo de abordaje favorece y permite la aparición de conflictos cognitivos que conllevan al estudiante constantemente a una revisión conceptual anterior y así reconstruir o modificar su conocimiento, por lo tanto, se debe intentar lograr que los estudiantes adquieran nuevos conceptos, es decir deben realizar una formación conceptual. **(Moreira & Greca, 2004)**

Una estrategia que favorece a lo anterior es aplicar en la enseñanza de la mecánica cuántica, la idea de la fenomenología conceptual, es decir, se determina y se establecen las características principales del sistema, estudiándolas y enfocándolas desde la perspectiva cuántica, sin llegar a la necesidad de buscar relaciones o analogías con la mecánica clásica. **(Moreira & Greca, 2004)**

A partir de la idea expuesta por Moreira y Greca, se plantea como estrategia o metodología llevar la mecánica cuántica al aula en términos de la fenomenología conceptual, es decir, analizar, comprender y conceptualizar todo entorno al suceso o acontecimiento que está siendo objeto de estudio, percibiendo y entendiendo todos los hechos involucrados en este fenómeno, presentándolo y abordándolo de una forma directa pero amigable, para los estudiantes, sin la necesidad de establecer relaciones o abordajes clásicos.

Otra investigación que aborda un acercamiento a la enseñanza de las ciencias naturales y particularmente la enseñanza de la mecánica cuántica, es el titulado *“Dificultades en el aprendizaje y la enseñanza de la física cuántica en el bachillerato”*, elaborado por Vicent Sinarcas y Jordi Solbes, el cual se enfoca en la enseñanza-aprendizaje de la mecánica cuántica en el bachillerato y las dificultades que presentan los estudiantes.

El objetivo es el de realizar un análisis en relación con las dificultades que presentan los estudiantes en la comprensión de temas de la mecánica cuántica, concluyendo que éstas se deben

a que los fenómenos cuánticos y los conceptos que los definen no se pueden equiparar con la percepción de los sujetos, además de señalar que los docentes tienen poca claridad y apropiación de los conceptos básicos de la mecánica cuántica. **(Sinarcas & Solbes, 2013)**

Estos autores ponen de manifiesto que en los cursos introductorios de mecánica cuántica se da una explicación rápida sobre los fundamentos de la teoría, es decir, no se realiza una profundización sobre los conceptos básicos en los que reposa la mecánica cuántica, dejándolos de lado y reduciendo su enseñanza a las ecuaciones y al formalismo matemático. De igual manera, indican que para dar cuenta de la estructura de la materia se hace uso de un planteamiento clásico que genera ideas erróneas y propicia un pensamiento clásico en los estudiantes **(Sinarcas & Solbes, 2013)**.

La dificultad que presentan los estudiantes para la comprensión de los fenómenos a nivel atómico desde lo expuesto en el documento, radica en el hecho de que los docentes, en general, no enfatizan que éstos tienen que ser analizados con una nueva manera de conocer diferente a la clásica, además de señalar que su comportamiento es totalmente diferente a los que predice la mecánica clásica, es decir, la mecánica cuántica genera una nueva mirada para la descripción de los fenómenos a nivel atómico la cual se encuentra apoyada en una forma diferente de conocer.

Dados los aportes que se extraen de los artículos aquí presentados, se logra exhibir una serie de dificultades (currículo, formalismo matemático, el abordar la mecánica cuántica a partir de sucesos históricos, entre otros) que ponen de manifiesto la necesidad de incluir la enseñanza de la mecánica cuántica en el nivel de educación de básica y media y plantea el reto, a la comunidad educativa de sugerir una reflexión y proponer nuevas estrategias de enseñanza – aprendizaje en torno a la física moderna, puntualmente en la mecánica cuántica.

Por lo tanto, se plantea incluir temas relacionados con la mecánica cuántica en la educación, con el objetivo de cambiar el pensamiento y la forma de cómo se da explicación al mundo en el que vivimos. Una forma de lograrlo es llevando al aula la mirada que da la mecánica cuántica sobre el mundo físico, evidenciando la falencia que tiene la teoría clásica a la hora de abordar fenómenos a nivel atómico.

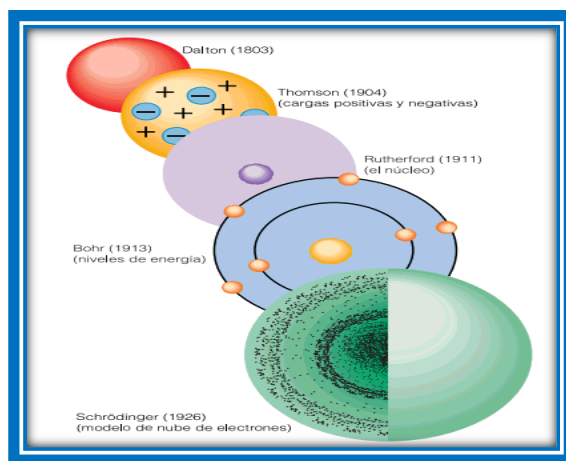
Por ejemplo, desde la perspectiva de la mecánica clásica, es posible hablar de la trayectoria y la velocidad de un objeto (algo que realiza el ser humano en su vida cotidiana), en cambio, al abordar el comportamiento de las partículas microscópicas, es decir, a nivel atómico, la mecánica clásica, presenta varios problemas, como por ejemplo, no puede describir las partículas a partir de una trayectoria, como entidades que se mueven en el espacio, por el contrario, se debe exponer en términos de la energía que contiene y las interacciones y/o efectos que produce en su entorno, por tal razón la enseñanza de la mecánica cuántica da la oportunidad de hacer una reflexión sobre la importancia de incluir temas que generen alternativas en el aula y propiciar en el docente estrategias de enseñanza. **(Hobson, 1996)**

Es necesario afrontar y evidenciar las falencias y errores conceptuales que propician el pensamiento clásico a la hora de tratar tópicos de la mecánica cuántica, y puntualmente el pensamiento que se tiene en relación a la forma en la que ocurren los fenómenos a nivel atómico, ya que, para dar explicación a los fenómenos se recurre a estrategias que involucran representaciones mentales, modelos, analogías, entre otros, que en muchas ocasiones confunden al estudiante y no le permite hacer una comprensión de ellos. **(Pessanha, Couso, & Pietrecola)**

En general, las estrategias utilizadas por los docentes se encuentran sustentadas en modelos clásicos y en la mayoría de los casos los docentes no aclaran a los estudiantes, que son

representaciones o abstracciones de la realidad física. El uso de estas estrategias puede contribuir a una comprensión incorrecta en los estudiantes de los fenómenos abordados lo que propicia errores conceptuales que obstaculizan el aprendizaje de nuevas posturas o fenómenos. (**Pessanha, Couso, & Pietrecola**)

Un ejemplo de lo que anteriormente se señala, se da en la clase de ciencias naturales al enseñar el concepto de átomo como parte de la estructura de la materia. El átomo se muestra compuesto por un núcleo y en éste se encuentran los protones y neutrones, alrededor del núcleo orbitan los electrones. Desde este abordaje se exponen las diferentes representaciones del átomo que históricamente surgieron, como se muestra en la Figura 1.



**Figura 1.** Modelos atómicos.

([http://www.guatequimica.com/tutoriales/atomo/topic.htm#t=Modelos\\_Atomicos.htm](http://www.guatequimica.com/tutoriales/atomo/topic.htm#t=Modelos_Atomicos.htm), s.f.).

El condicionamiento que genera los diferentes modelos atómicos en los estudiantes ocasiona una limitación en el análisis de los fenómenos a nivel atómico, ya que la descripción se encuentra apoyada en una representación clásica y en un conocer clásico, lo cual produce dificultades cuando es abordado desde el contexto cuántico. Por lo tanto, el estudiante se encuentra condicionado a pensar y describir el átomo a través de un modelo clásico.

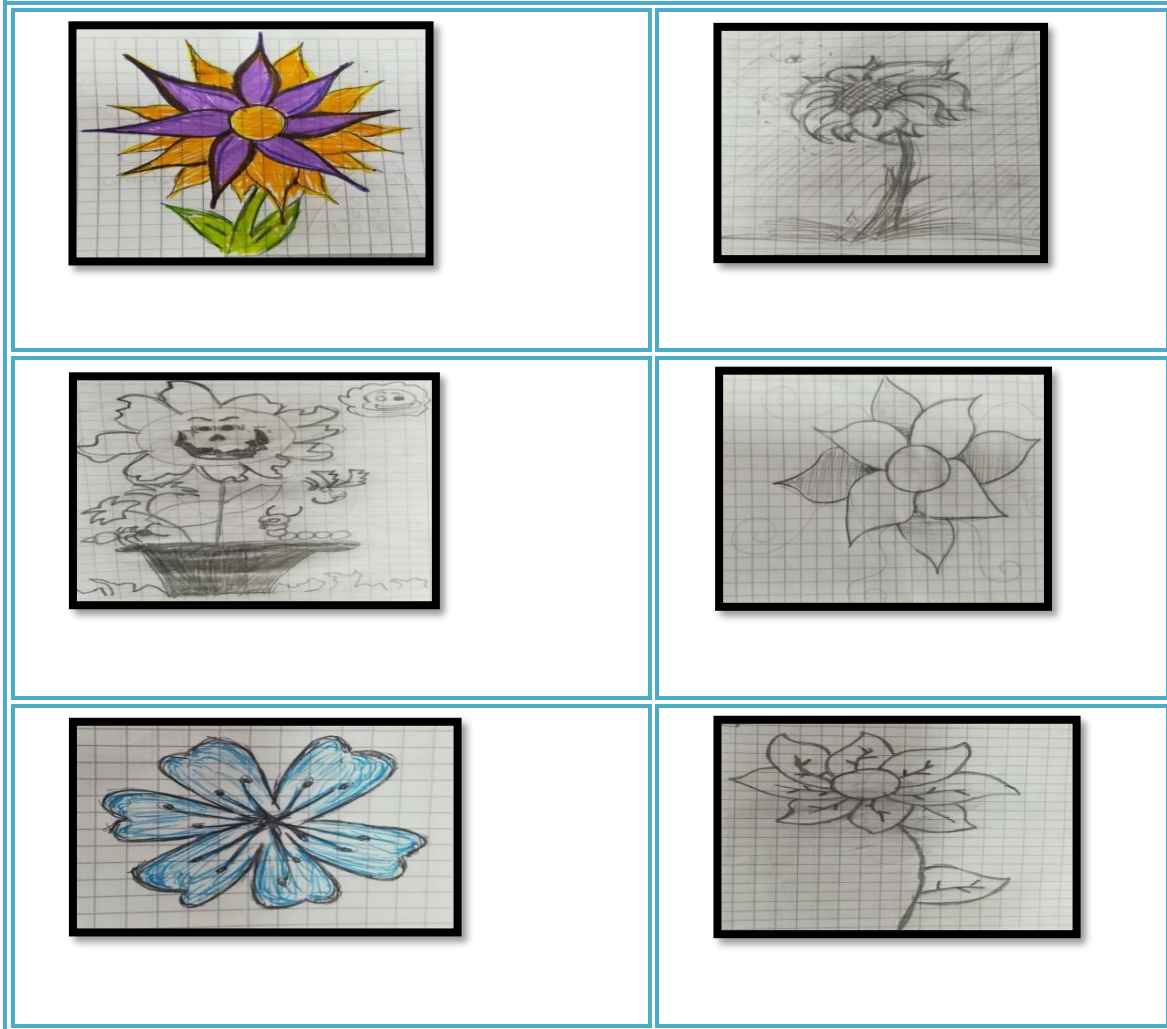
En este sentido, se planteó una actividad a un grupo de estudiantes de grado decimo del Colegio Celestin Freinet de Chía, donde se les solicito hacer un dibujo de una flor con el fin de indagar sobre la representación construida por cada uno basada en su percepción. En la Figura 2, se evidencia, algunas de las diferentes representaciones que desarrollan los estudiantes mostrando las principales características y evidenciando a la vez las diferentes percepciones que se adquieren a través de la experiencia con el entorno.

Esta actividad permite hacer un análisis sobre las representaciones que desarrollan los estudiantes cuando se abordan fenómenos para su explicación. Los estudiantes, en general, utilizan imágenes, analogías, metáforas, representaciones, entre otras, con el fin de realizar una visualización clara, relevante o apropiada para intentar comprender un fenómeno. Son capaces de dar las características básicas de un objeto en tanto puedan representarlo gráficamente según su experiencia o el modelo que se han hecho de éste. Esta estrategia o herramienta pedagógica de las representaciones, aplica para las teorías clásicas de la física, pero, cuando se emplea en la mecánica cuántica no facilita el proceso de comprensión en los estudiantes, ya que, desde esta perspectiva, no le será fácil realizar una representación del fenómeno abordado debido a que éste no es directamente perceptible, o por lo menos no desde la experiencia sensible del diario vivir. **(Doménech, Savall, & Martínez, 2013)**

Conviene señalar, que esas representaciones mentales que hacen los estudiante como herramienta facilitadora del conocimiento, no son malas o desfavorables en todos los casos, en los procesos de enseñanza- aprendizaje, puede darse el caso que en algunas de las diferentes ramas de conocimiento que desarrolla el ser humano puedan ser muy viables y propicias, pero, puntualmente en el caso de la enseñanza de la mecánica cuántica, no es la estrategia más adecuada, ya que, genera ciertos conflicto en los estudiantes, al no poder describir el comportamiento de la



partículas microscópicas, de la misma forma que lo hace con los objetos en su entorno (nivel macroscópico).



*Figura 2. Representación de una flor, realizada por los estudiantes de grado decimo del colegio Celestin Freinet de Chía (2019).*

Por lo anterior se puede concluir que, en general, se reconoce que, para la enseñanza de la física, se necesita el apoyo de información visual dirigida a los estudiantes buscando favorecer la comprensión de los fenómenos (Alvarez, 2010). Esta información se presenta a través de esquemas, gráficos, dibujos etc. los cuales complementan la exposición del docente y facilitan el “aprendizaje” de los estudiantes. Sin embargo, aunque estos recursos juegan un papel importante en el proceso de aprendizaje de los estudiantes, en algunas ocasiones no se les explicita que son

sólo modelos clásicos o representaciones, que el docente utiliza en su didáctica y, por eso, el estudiante tiende a atribuir esas didácticas y representaciones a las realidades del mundo físico a nivel atómico.

Con el fin de evidenciar y mostrar argumentos que validen la propuesta de incluir temas de la mecánica cuántica en la educación básica media y en cursos introductorios a nivel universitario, se propone realizar un análisis sobre la interacción radiación- materia en el proceso de visión del ojo humano, resaltando los procesos que realizan las células y a su vez las moléculas para transformar la información y ser interpretada por el cerebro.

En este sentido, se toma como apoyo la perspectiva de la discretización de la energía, articulándola con el efecto fotoeléctrico y enfatizando la necesidad de una mirada cuántica del proceso de visión. La descripción del mecanismo de visión del ojo humano desde el contexto cuántico permite realizar un análisis los procesos físicos, químicos y biológicos que tienen lugar en la interacción radiación- materia.

La propuesta se encuentra estructurada de la siguiente manera: en primer lugar, se pone de manifiesto los obstáculos y problemáticas que se tienen en el proceso de construcción del conocimiento por parte de los estudiantes cuando se analizan fenómenos a nivel microscópico. En segundo lugar, se realiza una descripción sobre algunos procesos físicos, químicos y biológicos inmerso en el proceso de visión del ojo humano, puntualizando el proceso que se lleva a cabo en la retina y en las células foto receptoras. En tercer lugar, se aborda la interacción radiación materia que se da en el mecanismo de visión del ojo humano, realizando una articulación con el efecto fotoeléctrico, con el fin de evidenciar el carácter discreto de la materia.

Con el fin de realizar la descripción de algunos procesos físicos, químicos y biológicos que se dan en el mecanismo de visión el ojo humano es primordial destacar que la interdisciplinariedad en los procesos de enseñanza- aprendizaje ha adquirido un significado e importancia a la hora de enseñar las ciencias naturales en diferentes ámbitos educativos, ya que los fenómenos que se describen y que se pueden vivenciar en la naturaleza requieren que sean abordados desde una forma interdisciplinar generando en los estudiantes una mejor apropiación y aprendizaje en ciencias. **(Grisolía, 2008)**

La interdisciplinariedad es asumida como la estrategia en la que se emplean diferentes conceptos de disciplinas o campos de estudio, los cuales son utilizados para el análisis de un fenómeno en particular, es decir, en el momento de realizar la observación y dar explicación de cómo y porque ocurre un fenómeno en particular, éste es abordado desde un punto de vista interdisciplinar sin priorizar una disciplina en particular. **(Grisolía, 2008)**

La interdisciplinariedad permite plantear una mirada más amplia, completa y consolidada del objeto de estudio, generando una percepción más extensa del fenómeno, dejando en claro que al abordar esta estrategia en los ámbitos educativos y particularmente en la enseñanza de las ciencias, permite evidenciar las características, además del análisis del fenómeno sin hacer alusión a una disciplina en particular.

Desde este punto de vista, la enseñanza del proceso de visión del ojo humano es abordado desde un enfoque interdisciplinario que permite realizar un análisis más reflexivo sobre los diferentes procesos que tienen lugar en el ojo. Esta estrategia ofrece nuevas y diversas herramientas que permiten mejores procesos de aprendizaje en los estudiantes. Dejando claro que el objetivo no es propiciar conceptos o conocimientos absolutos, sino por el contrario, favorecer escenarios de

aprendizaje, en los cuales los estudiantes tengan la facilidad y habilidad de contrastar diversos puntos de vista con el fin de enriquecer y ampliar su conocimiento. **(Grisolía, 2008)**

En este sentido, esta estrategia suministra diferentes herramientas al estudiante en su proceso de aprendizaje, ya que, le permite realizar una aproximación a temas relacionados con las ciencias desde diferentes puntos de vista sin la necesidad de categorizar o fragmentar el conocimiento. Adicionalmente el docente debe implementar un lenguaje sencillo y fácil de interpretar por los estudiantes, además de proporcionar una terminología que permita evidenciar y dar cuenta de los diferentes procesos que se dan en la explicación del fenómeno.

### **Planteamiento del problema**

Cuando se abordan fenómenos a nivel atómico se recurre, en general, a la utilización de los modelos atómicos sobre la estructura de la materia, iniciando por el Modelo atómico de Dalton, y seguida por los modelos atómicos planteados por Thomson, Rutherford, y Bohr, que en la mayoría de los casos, es la “estrategia” para que los estudiantes realicen una representación sobre la estructura de la materia, sin tener presente, la consideración, en relación a que las representaciones son modelos que se construyen dentro de la didáctica que plantea el docente, generando así, que los estudiantes desarrollen una inadecuada apropiación y comprensión de los fenómenos que ocurren a nivel molecular. **(Pessanha, Couso, & Pietrecola)**

Bajo este contexto, los estudiantes no perciben el cambio de pensamiento que conllevan los modelos clásicos del átomo al moderno, generando esto un conflicto a la hora de abordar un fenómeno a nivel atómico, dado que el fenómeno no es directamente perceptible. **(Pessanha, Couso, & Pietrecola)**

En consecuencia, ese cambio en la forma de pensar y comprender el mundo “pensamiento cuántico” que conlleva la mecánica cuántica, se distingue, entre otras cosas, por el suceso de que el proceso de observación que se realiza al objeto de estudio tiene un alto nivel de perturbación, en otras palabras, el observador altera, afecta y precisa la situación que está estudiando.

Adicionalmente esta nueva forma de ver, entender y pensar las partículas a nivel microscópico, desde la mecánica cuántica, no es tan fácil de asimilar y de comprender, esto se debe a que, para los estudiantes, por ejemplo, no es lógico, que un objeto pueda encontrarse en dos lugares al mismo tiempo, esto va en contra de su intuición, de lo que ya conoce de su forma de pensar, que ha sido ceñida, por los fuertes condicionamientos que se dan en la mecánica clásica. (Roza, Walteros, & Cortés, 2019)

### **Pregunta problema**

¿Cómo lograr un pensamiento cuántico en los estudiantes de educación básica media a partir de la interacción radiación-materia en el mecanismo de visión del ojo humano?

### **Objetivos**

#### **Objetivo general**

Proponer un acercamiento a partir de la interacción radiación materia presente en el mecanismo de la visión del ojo humano, enfatizando en el carácter discreto de la energía.

#### **Objetivos específicos**

- Evidenciar la necesidad de un pensamiento cuántico cuando se abordan fenómenos a nivel atómico mediante una revisión bibliográfica.

- Abordar la interacción radiación materia a propósito del proceso de visión del ojo humano, utilizando la discretización de la energía.
- Mostrar la posibilidad de incluir temas relacionados con la mecánica cuántica en la educación, desde un abordaje alejado las representaciones e imágenes de la mecánica clásica.

### **Metodología**

La investigación se desarrolla a través de la revisión y análisis de artículos relacionados con la enseñanza de las ciencias y particularmente con la enseñanza de la mecánica cuántica, evidenciando la necesidad de incluir temas de la mecánica cuántica en el ámbito educativo (a nivel universitario y en la educación básica media), mostrando, además, las dificultades que tiene la mecánica clásica a la hora de abordar fenómenos a nivel atómico, puntualmente el caso del mecanismo de visión del ojo humano, siendo éste abordado desde postura interdisciplinar. La investigación se desarrolla en las siguientes fases:

**Fase uno:** revisión bibliográfica en relación con la necesidad de incluir temas de mecánica cuántica en la educación, no solo en cursos introductorios a nivel universitario sino en la educación básica y media, evidenciando las dificultades que puede ocasionar el pensamiento clásico y sus representaciones en los estudiantes al abordar temas relacionados con la mecánica cuántica.

**Fase dos:** se caracterizará la interacción radiación materia, en el proceso de visión del ojo humano, articulando el efecto fotoeléctrico, con el fin de hacer énfasis en el carácter discreto de la energía.

**Fase tres:** se dará una argumentación sobre la importancia de incluir temas de mecánica cuántica en el ámbito educativo enfatizando las dificultades de abordar fenómenos a nivel atómico desde una mirada clásica.

## **CAPÍTULO 2: Obstáculos y problemas en el proceso**

### ***de Enseñanza-Aprendizaje de la mecánica cuántica.***

En los últimos años las investigaciones realizadas sobre la enseñanza de las ciencias y particularmente en la enseñanza de la mecánica cuántica, ponen de manifiesto cómo las teorías “clásicas” se constituyen a partir de una entidad, representación o analogía presente en el mundo sensible, por el contrario, las teorías modernas, en la mayoría de los casos, no tienen un referente en el mundo cotidiano ya que están relacionadas “aparentemente” a fenómenos que sólo se pueden estudiar o reproducir con equipos muy sofisticados o simuladores. **(Greca I. M., 2000)**

A pesar de que las teorías modernas de la física se encuentran aplicadas en la mayoría de los avances tecnológicos actuales, no es evidente para los estudiantes la necesidad del conocimiento de éstas, por tanto, el reto en la educación consiste en acercar a los estudiantes a estas teorías exponiéndolas de tal forma que sean más comprensibles y asequibles para ellos, desmitificando la ciencia y particularmente las teorías modernas como algo inalcanzable o que muy pocos tienen la habilidad de alcanzar.

Por consiguiente, los docentes serán los encargados de buscar diferentes estrategias y/o alternativas en los procesos de enseñanza- aprendizaje, con el objetivo de generar espacios que permitan involucrar estas teorías a un contexto más cotidiano, sencillo, con terminología fácil de comprender, poniéndolas a un nivel más accesible para los estudiantes y propiciando de esta forma caminos más espontáneos de representación y caracterización de los fenómenos que están presentes en las teorías modernas. **(Greca & Herscovitz, 2002)**



Por lo cual, en las investigaciones desarrolladas en relación con la enseñanza de la física moderna, se ha puesto de manifiesto la necesidad de propiciar alternativas para superar las dificultades alrededor de la percepción que tienen los estudiantes sobre las teorías modernas, que en general son consideradas inalcanzable o sencillamente no encuentra una relación con el entorno. **(Pessanha, Couso, & Pietrecola)**

Las estrategias que se lleven al aula deben ser facilitadoras, que tengan como fin la articulación del pensamiento cuántico con el conocer cuántico, es decir, la practica educativa del docente de ciencias, a la hora de abordar tópicos de la mecánica cuántica, debe estar orientada y desarrollada con un enfoque experimental, con el fin de contrastar y familiarizarse con el percibir cuántico a través de la experimentación, introduciendo al estudiante a la construcción de explicación de fenómenos, adquiriendo así, poco a poco la base conceptual de la mecánica cuántica. **(Rozo, Walteros, & Cortés, 2019).**

Como resultado, de estas estrategias pedagógicas, apoyadas en las practicas experimentales, se evitara que los estudiantes, se vean evocados a la introducción de representaciones, entendiendo a estas, como aquellas ideas, imágenes, modelos, ilustraciones, esquemas, etc. que puede llegar a realizar los estudiantes para analizar o comprender algún concepto, recurriendo a las ideas clásicas del fenómeno, ya que éstas aunque útiles no son recomendables cuando se hace una análisis del fenómeno desde el contexto cuántico; se puede decir que el estudiante tiene obstáculos en su proceso de aprendizaje cuando son aplicadas las representaciones en los procesos de enseñanza. Por tal razón, la utilización de estrategias de representación y modelos mentales pueden llegar a jugar un papel inhibitor o limitador del conocimiento. **(Moreira & Greca, 2004)**

Lo anterior radica en una de las problemáticas que se evidencian en la actualidad, relacionada con la metodología en la enseñanza-aprendizaje de la física moderna, concerniente a la elaboración y construcción de modelos, refiriéndose a estos, como esas posibles representaciones mentales e imágenes que pueden desarrollar los estudiantes, a la hora de dar explicación de algún fenómeno particular, dejando en claro, que en la mayoría de los casos no se realiza la advertencia, de solo es una simple representación construida a partir de la intuición o experiencia común y no con la base conceptual dada desde la mecánica cuántica, que como se ha mencionado anteriormente, va en contra del sentido común y la percepción, aparentemente lógica que nos da en conocer al nivel macroscópico.

Por tal razón, esos modelos representacionales, “supuestos facilitadores” en dicho proceso de aprendizaje, que aparentemente se convierten en una herramienta o instrumento y sirven como mediador entre la teoría y la experiencia dentro del contexto clásico, sin embargo, no es conveniente extenderlos a la enseñanza de la física moderna ya que ocasiona errores conceptuales en los estudiantes. **(Moreira & Greca, 2004)**

Por ejemplo, el concepto corpúsculo es utilizado tanto en la mecánica clásica como en la mecánica cuántica, sin embargo, tiene un significado muy diferente en las dos perspectivas. Desde la perspectiva clásica, un corpúsculo es entendido como una partícula sin dimensiones, ubicación espacial, masa, entre otras características. En consecuencia, el estudiante se hace un imaginario de lo que es un corpúsculo, una representación plausible y que le permita, de una u otra forma interpretar este concepto, es decir, una representación mental, incluso puede llegar a realizar una imagen de lo que él entiende por corpúsculo. **(Greca & Herscovitz, 2002)**

Desde el contexto cuántico, corpúsculo significa un objeto sin dimensiones absolutas, no tiene una geometría que lo caracterice, sencillamente no se le puede atribuir un lugar preciso en el espacio, es decir, solo es real a partir de su interacción con el entorno. En otras palabras, es un sistema que no es percibido directamente, el observador no tiene una experiencia directa con el objeto de estudio, el corpúsculo sólo es real en una región del espacio cuando es observado o interactúa con un instrumento de medida. **(Eisberg & Resnick)**

Esta concepción cuántica de corpúsculo presenta conflicto en los estudiantes ya que, al no poder darle una forma o ubicarlo en algún lugar, no le permite hacer una representación de lo que es un corpúsculo como si lo hacen desde el contexto clásico, planteando dificultades para su comprensión **(Moreira & Greca, 2004)**. Desde esta perspectiva se evidencia que existen problemas que se pueden presentar por el uso de representaciones cuando son abordados temas de física moderna.

Otra de las dificultades y problemáticas que se encuentra presente en la enseñanza de la mecánica cuántica está relacionada con la estructura de la materia, ya que en general, se aborda a través de modelos clásicos del átomo **(Doménech, Savall, & Martínez, 2013)**. Por ejemplo, los modelos atómicos (Thompson, Rutherford, Bohr, entre otros) han forjado una serie de obstáculos en el proceso de aprendizaje de los estudiantes, ya que éstos los utilizan sin tener conciencia que se encuentran anclados sobre ideas clásicas y/o representaciones bajo el contexto de la mecánica clásica. En general, cuando se hace un análisis de un fenómeno a nivel atómico, siempre se recurre al imaginario de lo que es un átomo (núcleo con protones y neutrones y electrones moviéndose en orbitas alrededor del núcleo) generando una visión determinista de lo que es un átomo.

Adicionalmente, se evidencia en la literatura los diferentes modelos atómicos que han surgido a lo largo de la historia mostrándolos de manera “sencilla”, dejando de lado los argumentos, las necesidades a que responden y las causas que cada autor tuvo para proponerlo, es decir, los libros proveen información general y descontextualizada sobre la estructura de la materia, dejando de lado la problemática inmersa y el contexto en el que surge.

Por ejemplo en la clase de ciencias, se realiza una exposición muy resumida de la evolución de los diferentes modelos atómicos a lo largo de la historia, iniciando con el modelo atómico planteado por Dalton, continúan con el de Thompson (pudín de pasas), después se expone el de Rutherford, finalizando con el modelo de Bohr, y eventualmente el modelo actual, sin llegar a profundizar en las necesidades que tenían los autores para dar solución y explicación en relación a como es la estructura de la materia y a los procesos de formalización y/o experimentación que tuvieron que realizar, etc. Por lo tanto, surge la necesidad de un cambio de paradigma en la enseñanza de la física que permita una cosmovisión diferente de observar y percibir el mundo físico. **(Doménech, Savall, & Martínez, 2013)**

### ***Necesidad de incluir la mecánica cuántica en diferentes niveles educativos.***

Las investigaciones asociadas con los procesos de la enseñanza-aprendizaje de la mecánica cuántica, ponen de manifiesto la necesidad de incluir temas afines con la mecánica cuántica en la educación, no solo en cursos introductorios de física moderna a nivel universitario, sino también en la educación básica y media en nuestro país, dado que logra dar explicación a una gran variedad de fenómenos sin dejar de lado la importancia que ha tenido para el avance y el sustento teórico de otras teorías como son la física nuclear, la física del estado sólido, física partículas, entre otras, además de dar una nueva cosmovisión de mundo. **(Hobson, 1996)**

Por otro lado, la manera de conocer se encuentra unida y encadenada al hecho de que los procesos de observación que se hace sobre un sistema cuántico tienen un alto nivel de perturbación incontrolable sobre éste, es decir, cualquier observación inevitablemente genera una perturbación o alteración en el sistema. Por tal razón, el concepto de grande y pequeño toma significado bajo esta mirada (**Dirac, 1967**).

Teniendo en cuenta esto, la necesidad de introducir la teoría cuántica en la educación no solo radica por la base experimental, sino que también se encuentra sustentada por las nuevas ideas que la constituyen.

Como se evidencia, existen diferentes argumentos que validan la necesidad de incluir la mecánica cuántica en la educación básica, ya que los fenómenos a nivel atómico no pueden ser explicados de una forma asertiva desde la teoría clásica y, por lo tanto, deben ser abordados desde el contexto cuántico, lo cual conduce a cambiar la forma de ver y comprender el mundo. (**González, Muñoz, & Solbes, 2020**)

La necesidad de incluir la mecánica cuántica en la educación está dada por las siguientes razones:

- La mecánica cuántica proporciona una cosmovisión más amplia del mundo físico. Permitiéndole así al estudiante ampliar y evolucionar en la forma que conoce y explica los fenómenos presentes en su entorno.
- La mecánica cuántica permite una comprensión sobre la estructura de la materia, más acorde a la realidad que ha demostrado la actividad experimental a nivel molecular.
- La teoría cuántica amplía la forma en la que se observa y analiza el entorno físico.

- El impacto a nivel tecnológico que ocasiono, entre otros, por ejemplo, los avances que se han dado para mejorar las telecomunicaciones, en instrumentación médica, computacional, etc.

### **La enseñanza de la mecánica cuántica.**

La mayoría de los cursos que abordan temas relacionados con la mecánica cuántica, son propuestos realizando una exposición histórica sobre los diferentes experimentos cruciales que dieron asiento para el surgimiento de nuevas ideas en torno a la descripción de los fenómenos a nivel atómico, como son: la radiación del cuerpo negro, el efecto fotoeléctrico, rayos x, entre otros, cuyo objetivo general es mostrar la necesidad de la cuantización de la energía (**Greca I. M., 2000**).

Aunque esto es importante, para la enseñanza de la mecánica cuántica se debe, inicialmente, proponer un análisis sobre los fundamentos en los que reposa, como, por ejemplo, la idea de partícula, los procesos de incertidumbre que se dan en la medición y observación de los sistemas, el principio de superposición de estados, etc., para dar explicación al comportamiento de la materia y energía; y la manera de pensar que se debe adoptar para la descripción de los fenómenos. De esta forma, se puede conseguir una mejor comprensión y razonamiento por parte de los estudiantes, siendo esto una alternativa más adecuada a la hora de enseñar temas relacionados con la mecánica cuántica.

En las últimas décadas, diferentes pensadores, han enfocado sus investigaciones en nuevas metodologías y estrategias de enseñanza con el fin de mejorar y hacer más accesible la mecánica cuántica, como, por ejemplo:

- Es importante iniciar con la formación continua de los docentes, para que adquieran y manipulen un buen nivel conceptual, con el fin de mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje de la mecánica cuántica en los estudiantes.
- El docente debe estar en la capacidad de desarrollar estrategias que le permitan mostrar ideas de cuantificación de la energía, el comportamiento cuántico de las partículas y los aspectos probabilísticos que conforman los principales conceptos de la física cuántica.
- Se debe tratar de realizar procesos experimentales sencillos, como, por ejemplo, espectros de emisión o el efecto fotoeléctrico, incluso se puede recurrir a herramientas tecnológicas, como simuladores o software, que permitan hacer una aproximación a estos fenómenos que estudia la mecánica cuántica.
- Finalmente se debe exponer la relación entre la mecánica cuántica y los avances a nivel tecnológico, de telecomunicaciones etc., que se originan a partir del estudio y desarrollo de esta ciencia.

En este sentido, esta estrategia, permiten involucrar al estudiante en una experiencia que lo aproxima a un conocer diferente al clásico, permitiéndole construir y reconstruir explicaciones a partir de los efectos observados. De esta manera, el estudiante se familiariza cada vez con la manera de pensar para argumentar y describir el fenómeno, lo cual facilita su proceso de aprendizaje.

Se puede afirmar que la mecánica clásica genera fuertes condicionamientos en el pensamiento de los estudiantes frente a explicaciones de fenómenos a nivel atómico o subatómico, los cuales realizan representaciones mentales con el fin de comprender o acercarse a una interpretación aparentemente plausible para ellos; están habituados a realizar una representación de un átomo estableciendo una forma con dimensiones y ubicación espacial para los electrones tal como lo

presentan los modelos clásicos. Por su parte, en mecánica cuántica no es posible hacer una representación de los sistemas cuánticos con estas mismas representaciones, ya que la forma de ver y comprender el mundo es muy diferente a la como se hace desde la perspectiva clásica, por ejemplo, no se puede hablar de trayectoria para los electrones en el átomo o de una posición en general para las partículas.

En otras palabras, la forma de ver el mundo que propicia el pensamiento clásico está orientado a describir la naturaleza, en términos de su posición, trayectoria, velocidad, es decir su movimiento, esto se realiza a través de las leyes de Newton, esto genera en los estudiantes fuertes condicionamiento en relación con que todo se debe poder explicar en estos términos y cuando esto no es posible, genera conflicto en su forma de entender y comprender el mundo.

Por el contrario, la forma de pensar que se genera a la hora de estudiar fenómenos desde la perspectiva de la mecánica cuántica permite dar explicación a una serie de sucesos, que no pueden ser explicados desde el contexto clásico, ya que a nivel microscópico no se le puede establecer trayectorias a una partícula, por el contrario, los objetos de estudio, desde la cuántica no tiene características fijas, es decir, esas cualidades que describen a las partículas pueden cambiar de un momento a otro, por esta razón, la mecánica cuántica usa la noción de probabilidad para establecer dichas propiedades en las partículas. **(Fortin, 2013)**



## **CAPÍTULO 3: Caracterización y explicación del proceso de visión del ojo humano.**

Con el objetivo de mejorar los procesos de enseñanza- aprendizaje en las ciencias naturales y, en particular de la mecánica cuántica, se han identificado dificultades y a su vez planteado prácticas pedagógicas que favorezcan el aprendizaje.

Una de las estrategias que puede favorecer la enseñanza- aprendizaje de la mecánica cuántica en la educación básica y media, está relacionada con abordar temas desde una perspectiva fenomenológica conceptual, es decir, a la hora de abordar algún concepto, se recomienda contextualizar a los estudiantes en torno a un fenómeno en el cual se vea inmerso este concepto y a partir de este, desarrollar todo el proceso explicativo y de análisis por parte del docente y del estudiante.

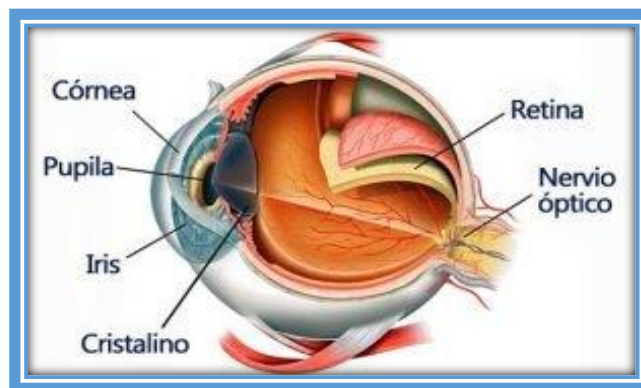
Lo anterior, se puede logra, utilizando en el aula de clase herramientas que conlleven actividades experimentales que ayude a la construcción de nuevo conocimiento, el cual les permita dar explicación a diferentes fenómenos a nivel microscópico, ya que se fomentan nuevas formas de ver, pensar y entender el mundo físico, propiciando habilidades de pensamiento desde un contexto cuántico, superando la bifurcación que se ha dado entre la experiencia y la teoría de la mecánica cuántica (**Rozo, Walteros, & Cortés, 2019**)

En el presente capítulo se realiza un abordaje del proceso de visión del ojo humano, realizando una descripción general y finalizando con el proceso de foto transducción visual que se da en las células fotorreceptoras de la retina, con el fin de dar explicación al fenómeno de interacción radiación- materia presente en el proceso de visión del ser humano.

## **Funcionamiento del ojo humano**

La necesidad de conocer (tener información de algo), entender (pensar en torno a algo) y comprender (poder dar explicación de algo) el mundo ha llevado a la humanidad a interactuar de diferentes formas con él, una de éstas es a través de los sentidos y las sensaciones que estos producen; por ejemplo: el sentido del gusto, con él, se puede experimentar lo amargo, dulce, ácido, picante, etc. El tacto permite apreciar texturas, formas, etc. El olfato permite percibir diferentes tipos de aromas (agradables y otros no tanto) y, por último, el sentido de la visión permite identificar colores y formas entre otros.

Desde la forma en cómo interactúa el ser humano con la naturaleza, se tiene entonces que la visión es uno de los sentidos más importantes, ya que por medio de éste la información que entra a través del ojo humano permite caracterizar diferentes procesos y fenómenos mediante la observación. El ojo humano es el órgano encargado del proceso de la visión, en él se encuentran diferentes elementos como se evidencian en la Figura 3.



**Figura 3.** Partes del ojo humano. (<https://www.oftalvist.es/blog/sentido-de-la-vista/>)

Cada elemento que compone el ojo humano tiene una función bien definida con el fin de conseguir su objetivo, percibir información para que posteriormente sea enviada al cerebro y realizar su interpretación. El ojo humano es un órgano fotorreceptor encargado principalmente de recibir la información (fotones) procedente de los objetos del entorno y transformarlos en impulsos eléctricos, los cuales son trasladados al centro nervioso de la visión y posteriormente transmitidos al cerebro para su análisis e interpretación.

La visión es un fenómeno complejo ya que los estímulos luminosos captados por el ojo van al cerebro donde se convierten en sensaciones visuales, es decir, el ojo ve y el cerebro interpreta lo visto; este proceso de visión se realiza en cuatro fases: (Clina Baviera, 2016):

**Percepción:** Es la primera etapa del proceso y se debe a fenómenos ópticos (se puede observar en los recuadros A, B y C ilustrados en la Figura 4). Los fotones entran al ojo atravesando diferentes tipos de órganos como la córnea, que permite el paso de los fotones desde el exterior hacia la parte interna del ojo. Posteriormente pasan al iris, el cual es una membrana cuya función es separar la cámara anterior de la posterior. Esta separación recibe el nombre de pupila, la cual tiene propiedades de dilatarse y contraerse con el fin de controlar el paso de los fotones, de ahí pasan al cristalino, el cual se comporta como un lente con el fin de controlar el enfoque (mayor o menor nitidez). Este lente tiene las propiedades de ser elástico con el fin de cambiar su forma de convexa o cóncava gracias a los músculos que lo conforma, su función es la de enfocar la radiación hacia la retina, la capa de las células nerviosas situadas en el fondo del ojo (**Human Anatomy y Physiology., 2013**).

**Transformación:** Los fotones al impactar la retina, puntualmente a la mácula que actúa como una lámina, transfieren la información activando y/o estimulando las células fotorreceptoras

que se dividen en dos tipos: primero se encuentran las células denominadas conos que dan la agudeza visual y permiten diferenciar los colores, luego se tienen los denominados bastones, los cuales están encargados de la visión periférica y nocturna. Los fotones al interactuar con este tipo de células ocasionan una reacción química transformando la energía en un estímulo nervioso, es decir, las células fotorreceptoras reciben la energía del fotón convirtiéndola en información, que son señales eléctricas que se transmiten al nervio óptico con el fin de ser llevadas al cerebro para su interpretación, (en el recuadro D de la Figura 4) (**Feynman, 1998**)

**Trasmisión:** En este punto, la energía que fue transmitida a la célula fotorreceptora provoca el fenómeno de la transducción visual que convierte el estímulo en un impulso eléctrico, siendo éste a su vez transmitido hacia las células bipolares y ganglionares para ser enviado a través del nervio óptico hasta la corteza cerebral. En la transmisión se efectúa un proceso químico que se da en la conexión entre las neuronas, transportando el impulso eléctrico y generando la liberación de un cromóforo<sup>2</sup>. (recuadro E de la Figura 4) (**Fundamentos de la iluminación, s.f.**)

**Interpretación:** El estímulo nervioso viaja desde las células ganglionares y bipolares a través del nervio óptico hasta llegar al cerebro, allí la corteza cerebral se encarga de ratificar e interpretar los impulsos nerviosos (recuadro F de la Figura 4) (Clina Baviera., 2016).

Los cuatro procesos mencionados son de gran importancia para el proceso de visión del ojo humano, ya que en cada uno de ellos se llevan a cabo diferentes procesos, que pueden ser físicos, químicos y biológicos.

---

<sup>2</sup> Cromóforo: se define como una sustancia que tiene muchos electrones capaces de absorber energía o luz visible, y excitarse para así emitir diversos colores.

En este sentido, se puede decir que en la Percepción se lleva a cabo un *proceso físico* en la interacción que se da entre los fotones al entrar en la córnea y pasar por el cristalino hasta ser enfocados en la retina.

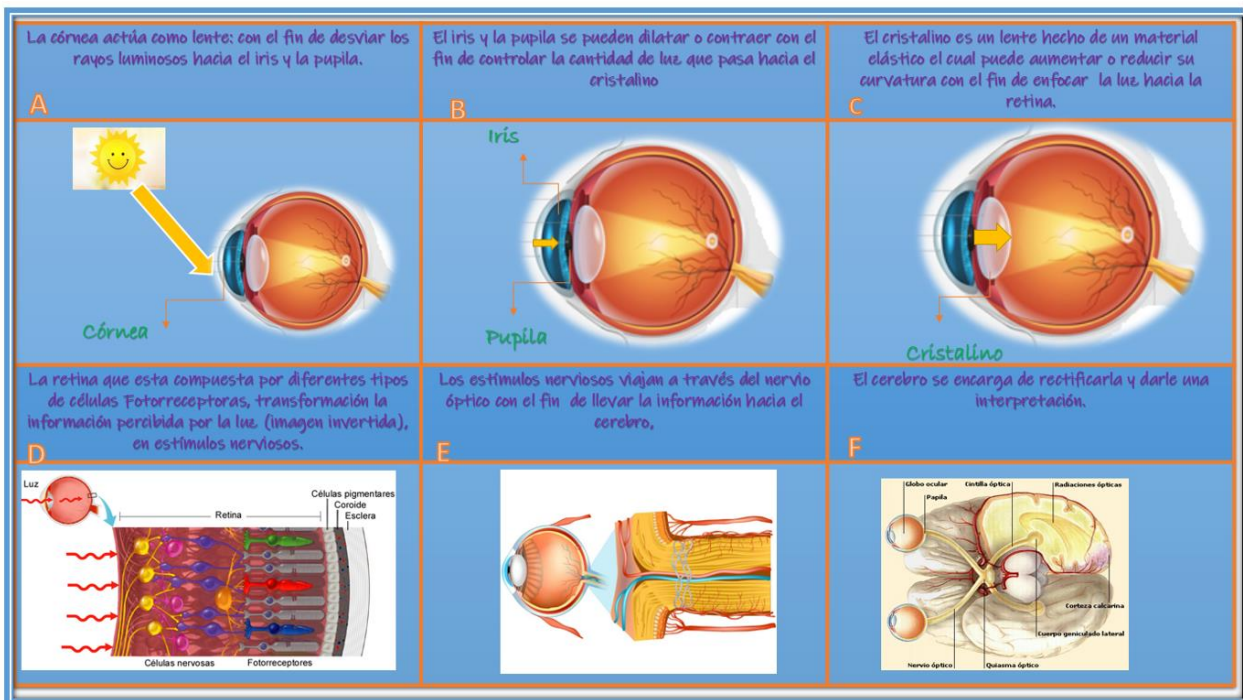
Un *proceso biológico* se encuentra relacionado con la dilatación y contracción de la pupila, la cual es un orificio pequeño de color negro que se encuentra ubicada en el centro del iris y que está encargada de regular el paso de los fotones hasta la retina, es decir, su dilatación o contracción está controlada por dos músculos: el esfínter de la pupila que la cierra y el músculo dilatador que la abre, por lo tanto, a mayor intensidad de radiación, se va a contraer y a menor intensidad de radiación se va a dilatar, controlando así, la cantidad de fotones que va a llegar a la retina. **(Human Anatomy y Physiology., 2013)**

En la Transformación se evidencia un *proceso biológico y físico* en la estimulación de las células fotorreceptoras, ya que los fotones entran en interacción con las células de la retina (conos y bastones) generando un estímulo en los compuestos que las conforman, lo que produce un impulso eléctrico que posteriormente es interpretado por el cerebro.

Un *proceso químico* se evidencia en los procesos sinápticos y de configuración de las moléculas de las células fotorreceptoras, es decir, la interacción que se da entre los fotones y las moléculas que componen a estas células, genera una isomerización; proceso químico que consiste en que una molécula cambia la disposición de sus átomos.

Un *proceso biológico*, está relacionado con el trabajo que realizan las diferentes células que están en la retina y el nervio óptico llevando la información al cerebro. En la Interpretación se dan nuevamente los *procesos físico, químico y biológico*, ya que el cerebro encargado de recibir la información percibida, la procesa y finalmente la interpreta.

En la Figura 4, se muestran los diferentes procesos (Percepción, Trasformación, Transmisión e Interpretación) que se dan en el ojo, desde la interacción hasta su transformación en el estímulo nervioso que es interpretado por el cerebro.



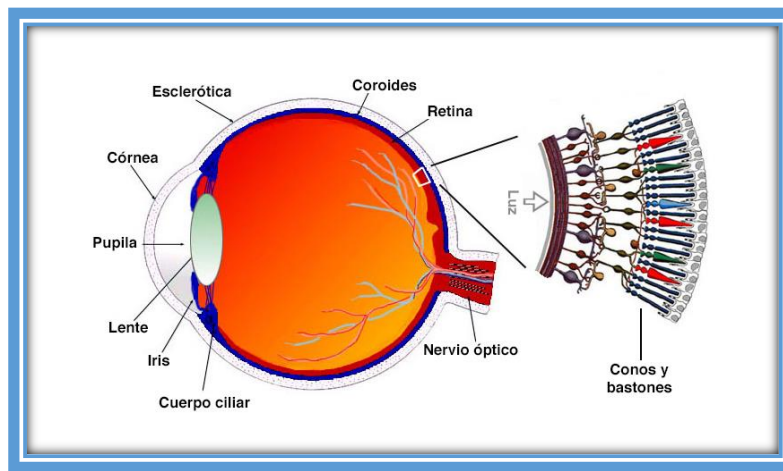
**Figura 4.** Funcionamiento del ojo humano. Tomado de (<https://www.clinicasnovovision.com/blog/que-es-la-cornea/>, <https://naukas.com/2014/10/17/una-ecuacion-para-iluminarlos-todos/>, <https://areaoftalmologica.com/terminos-de-oftalmologia/nervio-optico/>,

Los fotones que entran por la córnea se dirigen hacia el iris y la pupila, la cual controla su paso al interior del globo ocular dirigiéndolos hacia el cristalino. El cristalino tiene las propiedades de ser flexible, lenticular, biconvexo y su función es la de enfocar los fotones hacia la retina. En la retina cada célula se encuentra conectada entre sí formando una red. El proceso de interacción de los fotones con la retina provoca en ésta que se realice la foto transducción visual que sucede en las células fotorreceptoras.

En consecuencia, los fotones que interactúan con la retina y específicamente con la célula fotorreceptora, generan un estímulo eléctrico que provoca un cambio en la configuración de la

molécula de la célula fotorreceptora, transmitiéndolo a las células ganglionares conectadas al nervio óptico, de ahí, es dirigida la información al cerebro para ser interpretada (Urtubia, 2004)

Existen dos tipos de células fotorreceptoras, los conos y los bastones, células que se encuentran conectadas con las células bipolares. La ubicación de la célula fotorreceptora dentro de la retina se muestra en la Figura 5. (Lledo, Campos, & Cuenca, 2010)



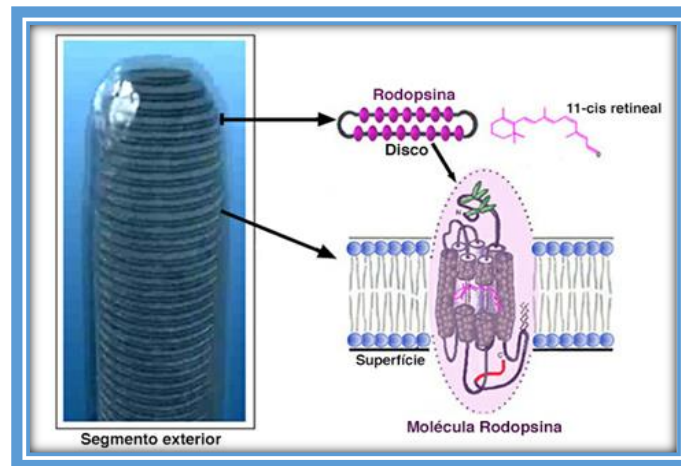
**Figura 5.** Ubicación de las células Fotorreceptoras (conos y bastones) en el ojo. Tomado de: (<http://www.blueconemonochromacy.org/es/how-the-eye-functions/>)

La caracterización de las diferentes células que se encuentran presentes en la retina permite dar cuenta de los procesos que se llevan a cabo en el ojo humano, es decir, la transformación del cuanto de energía en un impulso nervioso que es enviado a través del nervio óptico hacia el cerebro. En este orden de ideas, para la descripción del proceso de visión del ojo humano se ve la necesidad de introducir el carácter corpuscular de la luz con el fin de evidenciar el proceso físico, químico y biológico sin la necesidad de recurrir a un modelo atómico apoyado en un pensamiento clásico.

### **Transducción visual**

Las células fotorreceptoras son las encargadas de realizar la foto transducción visual debido a los pigmentos que contienen y su composición molecular: en el caso de los bastones la rodopsina

y en los conos la conopsina. En la Figura 6 se ilustra el segmento exterior de la célula bastoncito en el que se encuentra la proteína llamada rodopsina que funciona como pigmento visual. Esta proteína está compuesta por moléculas de la forma (11-cis-Retinal), la cual es sensible y fácilmente estimulada por los fotones en un rango de longitudes de onda que interactúan con ésta.

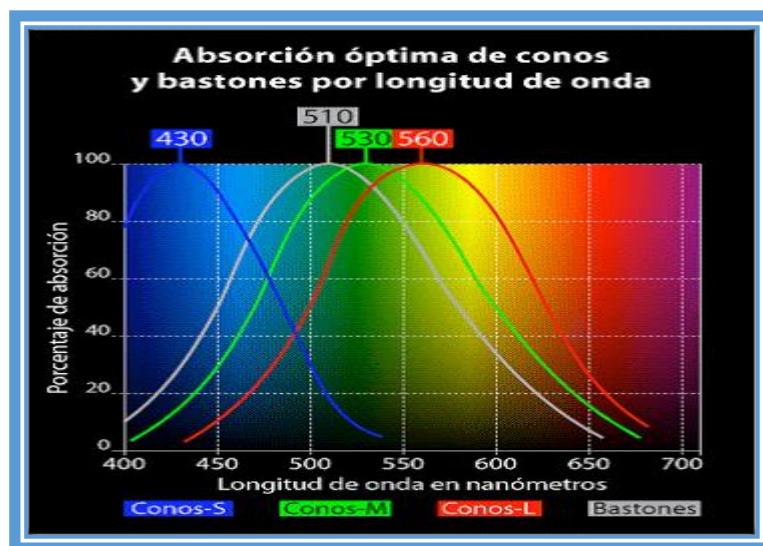


*Figura 6. Representación esquemática de la rodopsina a nivel de la membrana de los discos del segmento externo de los bastones. (Web Visión, s.f.).*

En estas moléculas que conforman a las proteínas ocurre el fenómeno de la transducción dado que al impactar los fotones desencadenan una distribución molecular en la proteína, en otras palabras, cuando la energía del fotón es absorbida por la molécula, hace que su configuración atómica cambie. (Serrano, Camas, & Sánchez, 2006)

En la figura 7, se muestra el porcentaje de absorción de energía por la molécula en relación con la longitud de onda del fotón. Las células fotorreceptoras, bastones y conos, son de tres tipos Cono-S (azul), Cono-M (verde) y Cono-L (rojo).





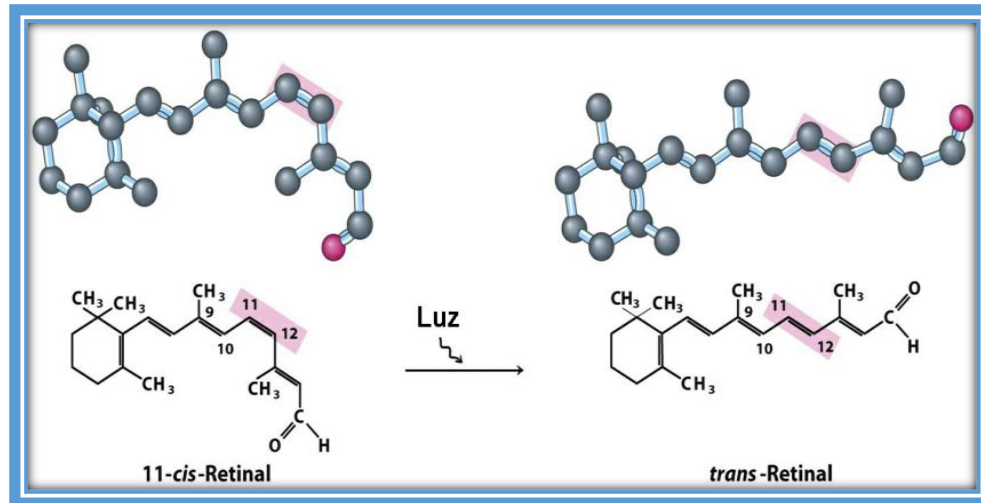
*Figura 7. Absorción óptica de conos y bastones por longitud de ondas. (Gutiérrez, 2018)*

Así, la molécula que conforma a la proteína del Cono-S, es sensible a la longitud de onda del fotón de **430 nm**, el Cono-M a la longitud de onda de **530 nm** y el Cono-L a la longitud de onda de **560 nm**. En el caso de los bastones, estos absorben fotones con longitudes de onda de **510 nm**. (Gutiérrez, 2018)

En el caso de la rodopsina que está formada por una parte proteínica que es la opsina y un carotenoide (aldehído de la vitamina A o retinal), absorbe fotones de longitud de onda de 510 nm provocando que la molécula se transforme de retinal 11-cis-retinal (forma inestable) a la forma todo-trans-retinal (forma más estable), es decir, se genera un proceso de isomerización<sup>3</sup>. En los isómeros (retinal 11-cis-retinal y el todo-trans-retinal) la distribución de los átomos de carbono cambia de ubicación como consecuencia de la absorción de los fotones que interaccionan, es decir, el enlace entre el carbono número 12 y 13 rota debido a la absorción de energía suministrada por

<sup>3</sup> **Isomerización:** es el proceso químico mediante el cual una molécula es transformada en otra que posee los mismos átomos, pero dispuestos de una forma distinta.

el fotón incidente; energía discreta necesaria para la rotación, como se ilustra en la Figura 8. (Serrano, Camas, & Sánchez, 2006)



*Figura 8. Transformación en el retinal 11-cis-retinal (forma inestable) a la forma todo-trans-retinal (forma más estable). (Human Anatomy y Physiology., 2013)*

En la Figura 8<sup>4</sup>, se ilustra la forma en la que rota el enlace entre el carbono número 12 y 13 debido a la absorción del fotón. Cuando los fotones interactúan con la molécula, ésta absorbe la energía suministrada por el fotón a través del carbono número 13 excitándose y generando como consecuencia una rotación, cambiando así, la molécula de la forma 11-cis-retinal a la forma, trans (todo-trans-retinal), dando como resultado una configuración estable. (Serrano, Camas, & Sánchez, 2006)

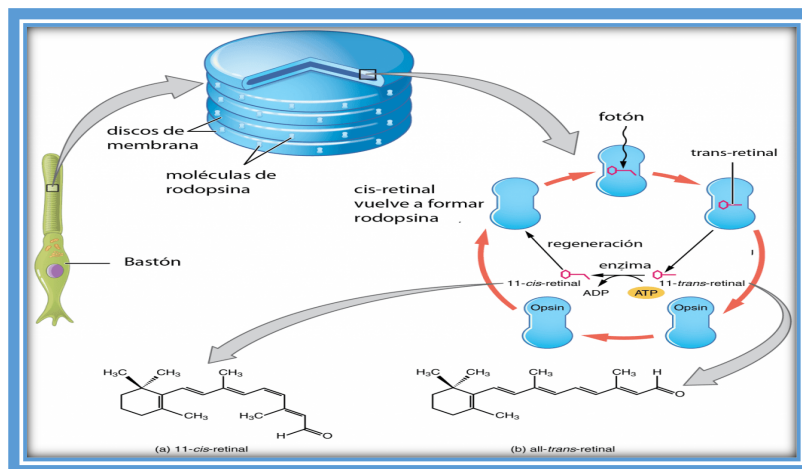
Al interactuar el fotón con la molécula, no solo ocasiona que se genere una rotación en el carbono número 13, sino también genera la liberación de un cromóforo de la molécula, provocando que la proteína (rodopsina) comience a liberar su parte proteica que, para este caso, es la opsina,

<sup>4</sup> Resaltando que la figura 8, es una representación gráfica que habitualmente es utilizada en las ciencias naturales, puntualmente en la química, con el fin de ilustrar la estructura atómica de algún compuesto, en este caso, es utilizada para ejemplificar el cambio en la molécula al absorber el fotón incidente.

conectándose así con otras células que se encuentran alrededor. (Serrano, Camas, & Sánchez, 2006)

Por lo tanto, al ser estimulados los carbonos de la molécula por la absorción de energía del fotón, provoca que cambie la orientación y, de esta forma, se libere Opsina<sup>5</sup>, permitiendo de esta forma que se oriente hacia la sección interna de los discos membranales de las células fotorreceptoras, conectándose así, a las células horizontales y bipolares con el fin de transmitir el impulso nervioso a través del nervio óptico hacia el cerebro.

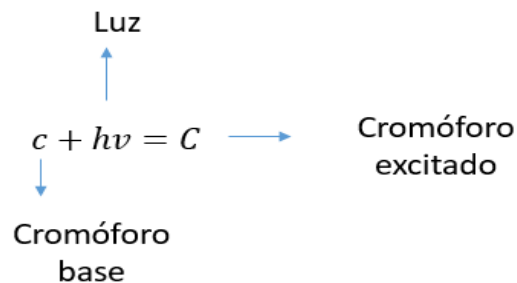
En la figura 9, se ilustra la reacción que se genera al interactuar la molécula **11 – cis – retinal** de la célula fotorreceptora con los fotones. Dado que la energía del fotón es discreta excita los carbonos de la molécula ocasionado que cambie la configuración y, así, transformándola a la forma **todo – trans – retinal**.



**Figura 9.** Liberación de opsina y conexión con las células horizontales. Tomada de: <https://curiosoando.com/wp-content/uploads/2018/03/activacion-retinal-1024x967.png>

<sup>5</sup> Opsina: Proteínas fotosensibles de las membranas de células fotorreceptoras como los conos y los bastones. Las opsinas tienen variadas propiedades de absorción de luz y pertenecen a la familia de los receptores acoplados a proteínas G. Sus ligandos son cromóforos derivados de la vitamina A.

La foto transducción visual es un fenómeno fotobiológico que sucede a través de diferentes reacciones bioquímicas. Dichas reacciones se derivan por la interacción entre las moléculas y los fotones incidentes en el ojo humano. La absorción del fotón por la molécula produce excitaciones electrónicas en los átomos que las constituyen, evidenciadas especialmente en el enlace de los carbonos 12 y 13. La molécula vuelve a su estado fundamental liberando el exceso de energía a través de la expulsión de un cromóforo para ser llevado a través del nervio óptico y ser interpretada la información por el cerebro, como se muestra en siguiente relación,



La relación ( $h\nu$ ) ( $h$  constante de Planck,  $\nu$  frecuencia del fotón), determina la cantidad de energía que absorbe la molécula asociada con la frecuencia del fotón interactuante. Esta relación, en general, establece el proceso de visión del ojo humano, es decir, el fotón contiene la energía necesaria para excitar las moléculas que componen a las células fotorreceptoras, generando así un exceso de energía en la molécula, cambiando la configuración y provocando que se libere un cromóforo (proceso de isomerización) terminando en un impulso nervioso que es enviado al cerebro para que sea interpretado.

### **Efecto fotoeléctrico**

El descubrimiento experimental del efecto fotoeléctrico exhibió y puso de manifiesto el carácter corpuscular de luz, a partir de la radiación electromagnética que sucede cuando se da la interacción

entre la radiación y la materia. Este experimento fue descubierto, de forma accidental por H. Hertz, cuando realizaba algunas experiencias con descargas eléctricas en algunos materiales conductores, con el fin de generar radiación electromagnética., por casualidad uno de estos materiales fue iluminado con luz ultravioleta, permitiéndole así observar que se producía una chispa entre los materiales, con más facilidad.

Años después, se demostró que la luz como tal (no solo la luz ultravioleta), favorecía la descarga de esferas, generando como consecuencia la expulsión de electrones, esta emisión de electrones a casusa de la interacción entre la radiación electromagnética y la materia es lo que recibe el nombre del efecto fotoeléctrico.

Tras varias modificaciones y algunas mejoras en el montaje experimental del efecto fotoeléctrico, conllevaron a lagunas deducciones:

- Para cada material conductor, existe una frecuencia minia de radiación incidente (frecuencia umbral), para que se dé la emisión de electrones de ese material, es decir, si la radiación no tiene la frecuencia mínima al incidir sobre el material, no se dará el efecto fotoeléctrico.
- La emisión de electrones es directamente proporcional a la intensidad de la radiación incidente., es decir, a medida que se aumente la intensidad de la radiación incidente, aumenta la expulsión de electrones.
- La máxima energía cinética de los electrones expulsados no depende de la intensidad de la radiación incidente sobre el material conductor.

### *Efecto fotoeléctrico desde el contexto de la mecánica clásica.*

Para dar explicación del efecto fotoeléctrico desde la visión de la mecánica clásica, es necesario plantear la situación desde este contexto, es decir, se debe diseñar un sistema que permita evidenciar la interacción que se da entre un campo magnético con un material; la interacción puntualmente se presenta entre la radiación electromagnética y los electrones del material, por tal razón, desde esta perspectiva para el vector que representa el campo eléctrico en la radiación electromagnética se produce un aumento en la intensidad a medida que aumenta la amplitud de la radiación (onda electromagnética). (Castañeda & Ewert, 2003)

Desde la perspectiva clásica este efecto se intentó explicar de la siguiente forma: al darse la interacción radiación materia, es decir, al incidir la radiación electromagnética de forma que se produzca una interacción entre la carga del electrón y el campo eléctrico ondulatorio, se genera como consecuencia una fuerza sobre el electrón y se produce la vibración u oscilación del electrón en su posición de equilibrio. Dicha vibración debería presentarse con una amplitud equivalente a la amplitud de la oscilación de la onda electromagnética, de tal forma que si el electrón recibe la energía suficiente puede salir expulsado del material.

Desafortunadamente, los resultados obtenidos a partir del montaje experimental para el efecto fotoeléctrico no logran comprobar lo que predice y argumenta la mecánica clásica, ya que, la energía cinética de los electrones en el experimento depende de la frecuencia de oscilación de la radiación incidente y no de la intensidad como se propone desde la mecánica clásica. Otro de los aspectos a los que no puede dar explicación en este fenómeno, es que, la teoría supone que, si la frecuencia de la radiación es pequeña, pero su amplitud es grande, al pasar un tiempo determinado el electrón debería adquirir la energía necesaria para ser expulsado del material incidente, lo cual no ocurre.

A modo de conclusión desde la mecánica clásica el efecto fotoeléctrico se debería dar para cualquier frecuencia de radiación si la intensidad es lo suficientemente grande, además, debe darse un tiempo medible mientras incide la radiación sobre el material, es decir, mientras el electrón adquiere la energía suficiente para ser expulsado del material. Estas premisas no tenían sustento desde lo que se encontraba en el experimento, por lo cual debieron buscarse nuevas formas para explicar la interacción entre la radiación y la materia

### **Efecto fotoeléctrico desde el contexto de la mecánica cuántica.**

El señor Albert Einstein, en el año de 1905, logra dar explicación del efecto fotoeléctrico, incorporando la idea de cuanto de energía (actualmente fotón), para la cual indicaba que la radiación incidente estaba conformada por pequeños paquetes de energía, cada uno de los cuales contiene un cuanto de energía y su valor es proporcional a la frecuencia de la radiación. **(Castañeda & Ewert, 2003).**

Por lo tanto, desde este contexto, se da un proceso de choque inelástico entre el fotón y el electrón, teniendo en cuenta que el fotón le cede la energía necesaria al electrón, para que este sea expulsado, adicionalmente con este planteamiento, también se asevera que, si se aumenta la intensidad de la radiación, es mayor la emisión de electrones.

Este planteamiento también logra dar explicación a la no existencia de un tiempo medible entre la interacción del fotón con el electrón (el cual debía existir mientras que aparentemente adquiría la energía necesaria para ser expulsado), ya que esta interacción se da de manera instantánea: al darse la interacción entre el fotón y el electrón, el fotón logra transferir la energía que necesita el electrón para ser expulsado del material, como si fuera un choque.

Otra de las comprobaciones que se dieron a partir del trabajo experimental teorizado por Einstein, está relacionado con, que para cada tipo de material existe o se establece una frecuencia mínima de radiación incidente, que recibe el nombre de frecuencia umbral, para que se pueda producir el desprendimiento de electrones de dicho material, es decir, para cada materia existe una frecuencia determinada a la cual se da el efecto fotoeléctrico, para una frecuencia menor, no se va a dar la liberación de electrones.

A partir de estos argumentos, obtenidos del proceso experimental, Einstein concluyo, que la radiación electromagnética evidencia propiedades corpusculares, es decir la energía proveniente de la radiación se encuentra cuantizada, paquetes de energía, que posteriormente recibieron el nombre de fotones, donde cada cuanto de energía porta una cantidad de energía igual a  $E = h\nu$ , donde  $h$  es la constante de Planck y  $\nu$  hace referencia a la frecuencia de la radiación. (Castañeda & Ewert, 2003)

### **Fenómeno de fototransducción desde una mirada clásica.**

El fenómeno de transducción visual puede ser explicado bajo el contexto de la teoría ondulatoria de la luz. En esta, la excitación a la célula fotorreceptora es debida a la energía de la onda de luz transmitida continuamente a la molécula y, por lo tanto, se deberían cumplir las siguientes condiciones:

- Al aumentar la intensidad de la luz incidente en el ojo humano, debería aumentar la excitación de las moléculas de las células fotorreceptoras y, por lo tanto, aumentar la visión del ojo humano.



- Las moléculas de las células fotorreceptoras deberían ser excitadas a cualquier frecuencia o longitud de onda de la luz incidente y, por tal razón, presentarse el proceso de isomerización.
- Dado que la energía de la onda incidente en el ojo se encuentra distribuida en todo el frente de onda, debería trascurrir un tiempo suficiente para que la molécula adquiriera la energía necesaria y sea excitada, dándose el proceso de isomerización y liberando el cromóforo.

No obstante, se encuentra que las moléculas de las células fotorreceptora reaccionan a una frecuencia o longitud de onda específica en forma instantánea, es decir, no se evidencia un tiempo para que los átomos de la molécula adquirieran una energía necesaria para iniciar los procesos bioquímicos que se dan en la transducción visual. **(Lledo, Campos, & Cuenca, 2010)**

Además, al aumentar la intensidad de luz, debería aumentar la energía cinética del cromóforo. Sin embargo, la energía con la que es liberado el cromóforo no depende de la intensidad de la luz, sino de la frecuencia de onda que interactúa con la molécula de la célula fotorreceptora (como se muestra en la ecuación presentada en la sección anterior) y, en consecuencia, la teoría ondulatoria de la luz no da una explicación propicia al fenómeno de transducción visual.

### **Fenómeno de fototransducción desde una mirada cuántica: Comparación entre el proceso de visión y el efecto fotoeléctrico**

Al finalizar todo este proceso de descripción del fenómeno de visión del ojo humano, puntualizando en la fototransducción y el abordaje de algunas generalidades del efecto fotoeléctrico, se pueden realizar una serie de comparaciones, semejanzas y similitudes entre los dos fenómenos.

Por ejemplo, cuando se llega a dar la explicación de lo que ocurre en el proceso de visión puntualmente entre la molécula de la rodopsina, se puede concluir que la forma en la que se da esa interacción se puede explicar mejor desde el contexto de la mecánica cuántica y no desde la mecánica clásica, esto se debe a que el formalismo y conceptualización de la mecánica clásica se queda corto o no brinda una adecuada explicación a este fenómeno.

A continuación, se expone una comparación entre el fenómeno de transducción visual que se da en las células fotorreceptoras de la retina del ojo humano y el efecto fotoeléctrico:

<p style="text-align: center;"><b><i>FOTOTRANSDUCCIÓN VISUAL</i></b></p> <p style="text-align: center;"><b><i>(OJO HUMANO)</i></b></p>	<p style="text-align: center;"><b><i>EFEECTO FOTOELÉCTRICO</i></b></p>
<p>La radiación incidente que interactúa con el ojo, puntualmente con las proteínas (rodopsina para los bastones y conopsina para los conos que conforman las células fotorreceptoras de la retina), no depende de la intensidad de la radiación incidente.</p> <p>Es decir, por más que se aumente la intensidad o la amplitud de la radiación, no se va a lograr el estímulo necesario para que la molécula de las células fotorreceptoras modifique su distribución, sin el rango de la longitud de onda adecuada y así la energía proveniente de</p>	<p>En el caso del efecto fotoeléctrico, se puede ver algo similar, la interacción entre la radiación electromagnética sobre un material no depende de la intensidad de la radiación ni de la amplitud de la radiación incidente.</p> <p>En otras palabras, el experimento del efecto fotoeléctrico mostro al ser analizado que por más que se aumenta la intensidad de la radiación incidente, no se va a conseguir la expulsión de electrones si no se tiene una longitud de onda adecuada.</p>

<p>la radiación se convierta en un estímulo para ser interpretado por el cerebro.</p>	
<p>Cuando la luz (fotones) ingresa al ojo e interactúa con las células fotorreceptoras de la retina, estas se encargan de hacer el proceso de fototransducción visual, que consiste en transformar la energía radiante en un estímulo nervioso.</p> <p>Este proceso de fototransducción (explicado anteriormente), se da de manera instantánea. El cambio en la distribución de la molécula de las células fotorreceptoras es instantáneo, es decir no existe un tiempo medible con nuestros objetos macroscópicos en el que se de dicha interacción.</p>	<p>Algo similar se estableció a partir del montaje experimental del efecto fotoeléctrico, en el cual se logró determinar, que el fotón al portar la energía necesaria para estimular los electrones del material logra que la energía sea transferida directamente al electrón y este sea expulsado del material, sin exhibir algún tiempo necesario para que se del fenómeno.</p>
<p>Para los diferentes tipos de células fotorreceptoras conos y bastones, presentes en la retina del ojo humano, existe un umbral de longitud de onda determinado para que se dé el fenómeno de fototransducción, es decir, para que se dé la interacción entre la radiación con cada tipo de célula, dicha radiación debe tener</p>	<p>En el contexto del efecto fotoeléctrico, también se estableció que para cada material existe un umbral mínimo de frecuencia, al cual se da el efecto fotoeléctrico.</p> <p>Es decir, si la longitud de onda de la radiación incidente es inferior al umbral que necesita ese</p>

<p>una frecuencia determinada para que logre estimular la molécula de la célula y así cambie su distribución, consiguiendo convertir la energía radiante en un estímulo nervioso.</p>	<p>material, no se va a lograr la expulsión de electrones del material.</p>
---	---

Por lo tanto, el fenómeno de transducción visual se puede explicar utilizando una mirada cuántica de la radiación y la materia. Bajo este contexto, la excitación de la célula fotorreceptora se debe a que la energía del fotón está cuantizada y, en consecuencia, se cumplen las siguientes condiciones:

1. La intensidad de los fotones es independiente de la energía cinética del cromóforo.
2. Las moléculas de la célula fotorreceptora son excitadas por determinadas frecuencias o longitudes de onda de los fotones incidentes y, por tal razón, el ojo humano sólo ve una parte del espectro electromagnético, la región visible. A frecuencias bajas y altas de los fotones, las moléculas de la célula fotorreceptora no son excitadas; así se ilumine con gran intensidad el ojo humano.
3. La energía de la radiación incidente en la célula fotorreceptora se asume discreta y concentrada en un ente denominado fotón dada por:  $E = h\nu$ . De esta forma se propone una mirada granular de la radiación contextualizada en una mirada cuántica y, en este orden de ideas, no existe un tiempo de retardo detectable.

La explicación del fenómeno de transducción visual permite introducir el carácter discreto de la energía a propósito de la interacción del fotón con las células fotorreceptoras, de tal forma que éste interactúa con la molécula de los pigmentos visibles e instantáneamente estimula la generación

el cromóforo. La interacción produce un cambio en la configuración de la molécula ocasionando la expulsión del cromóforo de la proteína. La interacción es instantánea, ya que los fotones con la longitud de onda establecida (510 nm en el caso de los bastones), tienen la energía necesaria para estimular a la molécula y así ser liberado el estímulo eléctrico de la proteína, es decir, no necesita un tiempo para realizar dicha estimulación, ya que la energía que necesita la molécula es suministrada por paquetes de energía llamados fotones.

Los procesos que se dan en el mecanismo de visión del ojo humano, y puntualmente en el fenómeno de transducción visual, permiten realizar un énfasis y exponer la interacción radiación-materia a propósito del proceso de visión del ojo humano asumiendo el carácter discreto de la energía.

En la descripción del proceso de visión de ojo humano no hubo la necesidad de recurrir a los modelos del átomo utilizando una forma diferente de ver y comprender los fenómenos a nivel atómico, asumiendo la luz como paquetes de energía, llamados fotones, siendo estos los que interactúan con la molécula, cambiando así su configuración.

Finalmente, el proceso de visión del ojo humano se puede utilizar como estrategia didáctica para introducir el carácter discreto de la energía, lo que permite promover un pensamiento cuántico en los estudiantes, acompañado con una manera diferente de conocer y abordar fenómenos que no están directamente relacionados con la experiencia inmediata, es decir, con los sucesos que ocurren a nivel molecular y que a simple vista, no somos conscientes de ellos, dando así argumentos a favor de introducir la enseñanza de la mecánica cuántica en la educación básica y media sin recurrir al uso de las representaciones clásicas del electrón y el átomo.

### **Propuesta de cómo se debe llevar a álula de clase la mecánica cuántica.**

Desde el referente, que se obtiene a partir de la investigación desarrollada en este documento, se plantea una propuesta, relacionada con una estrategia que se puede llevar al aula de clase, para tratar temas relacionados con la mecánica cuántica, resaltando que, simplemente es una sugerencia, como herramienta de enseñanza- aprendizaje de la mecánica cuántica a nivel de educación básica y media.

Como se mencionó en secciones anteriores, la enseñanza de la mecánica cuántica se debe orientar desde una perspectiva, experimental, a partir de un enfoque fenomenológico conceptual, para logra esto, es importar en primer lugar, establecer los tópicos bases de la mecánica cuántica, con los cuales el docente se encuentre familiarizado:

- Efecto fotoeléctrico
- Teoría cuántica de Planck
- Dualidad onda-partícula
- Radiación del cuerpo negro

Por tanto, cuando se planteen los tópicos de la mecánica cuántica, que se quieren abordar en el aula de clase, el docente pueda apoyarse de sus fundamentos teóricos enfocados a una actividad experimental (bien sea una experiencia cotidiana, una experiencia en el laboratorio o se puede utilizar diferentes herramientas tecnológicas, software o simuladores virtuales), en la cual se pueda apoyar para la explicación de la temática a trabajar; en el caso puntual del comportamiento corpuscular de la radiación se puede usar los conceptos abordados en esta investigación en el fenómeno de traducción visual presente en el proceso de visión del ojo humano, para hacer una

introducción y comparación con el efecto fotoeléctrico, sin el uso de modelos atómicos para dar cuenta de la interacción entre la radiación y la materia desde la mirada de la mecánica cuántica.

Adicionalmente, durante el proceso experimental, se sugiere ir mostrando la historia, los contextos en los cuales se estudiaron los fenómenos y todo el proceso que se dio en torno a este experimento, para describir cuales fueron las causas y las posibles soluciones que querían encontrar esos pensadores con dicho proceso experimental, exponer las ventajas, dificultades y modificaciones que se fueron dando.

Para el caso del efecto fotoeléctrico, el primero es descubrir este fenómeno, fue el pensador H, Hertz, cuando estaba tratando de electrificar y descargar unas esferas conductoras y accidentalmente fueron expuesta a una radiación electromagnética, durante algunos años a este experimento se le realizaron diferentes modificaciones, hasta que el señor Albert Einstein, concluye y da una explicación y formalización teórica al fenómeno que se da en el efecto fotoeléctrico.

Después de realizar el proceso experimental y el abordaje histórico al rededor del tópico que se va a llevar al aula de clase, se puede exponer todo el referente conceptual necesario para que los estudiantes, en primer lugar, conozcan del tema, entienda las relaciones que se dan en esta temática y finalmente puedan comprender y dar explicación de este.

Esta podría ser una posible ruta para seguir en el aula donde se retomen actividades experimentales y se aborde la historia con el fin reforzar los conceptos y facilitar los procesos de enseñanza en la mecánica cuántica.

A modo de conclusión, a la hora de llevar temáticas de la mecánica cuántica, (que aparentemente están mitificadas como complejas de enseñar y entender), es mejor utilizar

estrategias que relacionen la parte experimental con el fenómeno y a su vez con el concepto, estableciendo así los principios básicos para la comprensión de la temática que se va a abordar en el aula de clase, resaltando la importancia de no utilizar o emplear representaciones mentales, analogía, modelización o comparaciones que den pie a relacionar conceptos de la mecánica clásica con los de la mecánica cuántica.



## *Conclusiones*

- Las estrategias pedagógicas que involucran representaciones o modelos mentales, al abordar fenómenos a nivel molecular, no son las más adecuadas, por el contrario, pueden ocasionar dificultades en los estudiantes, ya que cuando se llevan estas representaciones a un contexto cuántico, el estudiante no puede realizar una modelización del fenómeno y por ende su comprensión puede verse limitada.
- Los modelos atómicos, al estar inmersos en un contexto clásico, deberían ser abordados en la educación de manera limitada, haciendo referencia al contexto y por qué se usaron, ya que actualmente generan fuertes condicionamientos en los estudiantes, dejando como precedente que siempre deben realizar representaciones o modelos mentales al dar explicación de algún concepto o fenómeno, lo cual no es posible y lleva a errores conceptuales a la hora de abordar fenómenos a nivel atómico o desde el contexto cuántico, ya que los modelos no son compatibles con este tipo de fenómenos.
- Utilizar conceptos de la mecánica clásica como estrategia mediadora para comprender conceptos de la mecánica cuántica, puede ocasionar una inadecuada asimilación, ya que generan conflictos en el estudiante al cambiar la perspectiva, ya que las dos teorías tienen formas diferentes de estudiar y analizar los fenómenos presentes en la naturaleza.
- Se pueden encontrar estrategias que permitan hacer un abordaje desde la mecánica cuántica, teniendo en cuenta algunos fenómenos de tipo biológico o químico como es el proceso de la visión; el análisis de estos fenómenos permite dejar de lado los modelos para

explicar sobre condiciones puntuales del proceso, la interacción entre la radiación y la materia y dar la explicación cuántica desde lo que ocurre con el efecto fotoeléctrico.

- El abordaje transversal con otras áreas del conocimiento exige un trabajo más amplio para el docente, en el caso puntual de la visión exige que se tengan conocimientos de la morfología del ojo y las células que intervienen en el proceso, además de lo que pasa a nivel químico en la interacción de la radiación con las células y finalmente poder dar cuenta cómo este fenómeno se puede explicar desde el contexto de la mecánica cuántica, por lo cual es una oportunidad para un trabajo conjunto en los colegios entre diferentes áreas del conocimiento y los docentes que las imparten.

# *Bibliografía*

Alvarez, T. (2010). La visualización de conceptos matemáticos y el aprendizaje del electromagnetismo. . *Latín American Journal of Physics Education.*, 143-148.

Castañeda, M., & Ewert, J. (2003). *Introducción a la Física Moderna*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Dirac, P. (1967). *Principios de la mecánica cuántica*. Barcelona, España.: Ediciones Ariel, S. A. Barcelona.

Doménech, J., Savall, F., & Martínez, J. (2013). ¿los libros de texto de bachillerato introducen adecuadamente los modelos atómicos de Thomson Y Rutherford? *Revista de investigación y experiencias didácticas. Enseñanza de las ciencias.*, 29-43.

Eisberg, & Resnick. (s.f.). *FÍSICA CUÁNTICA Átomos, moléculas, sólidos, núcleos y partículas* . LIMUSA WILEY.

Feynman. (1998). *Física, Volumen I: mecánica, radiación y calor*. Mexico: Addison Wesley Interamericano.

Fortin, S. (26 de 02 de 2013). El contacto entre dos mundos incompatibles: Mecánica Cuántica y Mecánica Clásica. *El contacto entre dos mundos incompatibles: Mecánica Cuántica y Mecánica Clásica*. Buenos Aires, Argentina: CONICET.

*Fundamentos de la iluminación*. (s.f.). Obtenido de <https://grlum.dpe.upc.edu/manual/fundamentosIluminacion-laVision.php>

González, E. M., Muñoz, Z. E., & Solbes, J. (2020). La enseñanza de la física cuántica: una comparativa de tres países. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las ciencias.* , 239-250.

Grajales, H. (Junio de 2017). LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA MODERNA EN LA EDUCACIÓN BÁSICA: UNA APROXIMACIÓN DESDE EL PRINCIPIO DE INCERTIDUMBRE. *LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA MODERNA EN LA EDUCACIÓN BÁSICA: UNA APROXIMACIÓN DESDE EL PRINCIPIO DE INCERTIDUMBRE.* Bogotá. D. C, Colombia: Universidad Pedagógica Nacional.

Greca, I. M. (2000). ¿Es posible hacer comprensible la Mecánica Cuántica? *Revista de Enseñanza de la Física*, 13-19.

Greca, I., & Herscovitz, V. (2002). Construyendo significados en mecánica cuántica: fundamentación y resultados de una propuesta innovadora para su introducción en nivel universitario. *Enseñanza de las ciencias*, 327-338.

Grisolía, M. (2008). La Interdisciplinariedad en la enseñanza de las Ciencias. *Revista Ciência & Educacao*, 11.

Gutiérrez, M. V. (2018). *Anomalías en la visión del color.* Jaén-España: Íttakus, sociedad para la información, S.L. .

Hobson, A. (1996). Teaching quantum theory in the introductory course. *The Physics teacher.*

Human Anatomy y Physiology. (2013). En E. Marieb, & K. Hoehn. Pearson.

Lahuerta, L. (2005). Teria atómica de Dalton. *Universidad Cardenal Herrera*, 4.

Lledo, M., Campos, E., & Cuenca, N. (2010). La trasnducción visual. *Annals d'Oftalmologia*, 130 -136.

Moreira, M. A., & Greca, M. I. (2004). *Obstáculos representacionales mentales en el aprendizaje de los conceptos cuánticos*. Obtenido de <http://moreira.if.ufrgs.br/obstaculosrepresentacionales.pdf>

Pessanha, M., Couso, D., & Pietrecola, M. (s.f.). *Obstáculos en el aprendizaje de modelos atómicos: pensando el uso de modelos*.

Rozo, M., Walteros, A., & Cortés, C. (2019). La actividad experimental como una parte fundamental para la enseñanza de la física moderna: el caso de la mecánica cuántica. *tecné, Episteme y Didaxis*, 16.

Serrano, A., Camas, J., & Sánchez, R. (2006). Fototransducción visual. *Rev Mex Ortalmol*, 6.

Sinarcas, V., & Solbes, J. (2013). Dificultades en el aprendizaje y la enseñanza de la física cuántica en el bachillerato. *Enseñanza de las ciencias*, 9-25.

Urtubia, C. (2004). Fisiología de la retina (I). El mensaje visual en la primera sinapsis. *VER Y OÍR*, 1-8.