



La enseñanza de la **estructura atómica** desde conceptos cuánticos

Zulman Estela Muñoz Burbano
Jordi Solbes Matarredona
Gustavo Adolfo Marmolejo Avenía
Germán Ramos Zambrano



Editorial
Universidad de Nariño



Editorial
Universidad de Nariño

**La enseñanza de la
estructura atómica
desde conceptos cuánticos**

La enseñanza de la estructura atómica desde conceptos cuánticos

Zulman Estela Muñoz Burbano
Jordi Solbes Matarredona
Gustavo Adolfo Marmolejo Avenía
Germán Ramos Zambrano



Editorial
Universidad de Nariño

Muñoz Burbano, Zulman Estela

La enseñanza de la estructura atómica desde conceptos cuánticos / Zulman Estela Muñoz Burbano ... [et al.]. -- 1ª. ed. -- San Juan de Pasto : Editorial Universidad de Nariño, 2023
97 p. : il. col., tablas

Incluye bibliografía p. 86-92 y datos de los autores p. 93

ISBN: 978-628-7509-76-4

1. Enseñanza de las ciencias 2. Estructura atómica de la materia--Enseñanza-Aprendizaje 3. Teoría cuántica 4. Métodos de enseñanza 5. Didáctica de las ciencias 6. Educación--Investigación en ciencias 7. Física--Enseñanza 8. Química--Enseñanza 9. Ciencias (Educación secundaria) I. Solbes Matarredona, Jordi II. Marmolejo Avenía, Gustavo Adolfo III. Ramos Zambrano, Germán

540.7 E597 - SCDD-Ed. 22



Sección de Biblioteca
"Alberto Quijano Guerrero"

La enseñanza de la estructura atómica desde conceptos cuánticos

© Zulman Estela Muñoz Burbano
Jordi Solbes Matarredona
Gustavo Adolfo Marmolejo Avenía
Germán Ramos Zambrano

© Editorial Universidad de Nariño

ISBN: 978-628-7509-76-4

Primera edición

Corrección de estilo: Luis Alberto Montenegro Mora
Diseño y diagramación: Nathaly Rivadeneira

Fecha de publicación: noviembre de 2022
San Juan de Pasto - Nariño - Colombia

Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio o con cualquier propósito, sin la autorización escrita de su Autor o de la Editorial Universidad de Nariño

Contenido

Prólogo.....	8
Introducción.....	10
Capítulo 1 ¿Por qué es necesaria una secuencia de enseñanza aprendizaje que promueva el estudio de la estructura atómica de la materia?.....	15
1.1 Estructura Atómica de la Materia en el Currículo Colombiano.....	15
1.2 Algunos antecedentes en la Investigación Educativa Colombiana sobre la Enseñanza de la Estructura Atómica de la Materia.....	18
1.3 La Estructura Atómica de la Materia en los Libros de Texto Colombianos.....	20
1.4. Conclusión	22
Capítulo 2 ¿Cómo se diseñó y validó la secuencia de enseñanza aprendizaje?.....	25
2.1 Referentes Conceptuales que Guiaron el Diseño de la Secuencia de Enseñanza	25
2.1.1 Diseño de secuencias de enseñanza aprendizaje basado en la investigación.	30
2.1.2 Socioconstructivismo.....	31
2.2 Fases del Diseño y Validación de la Secuencia de Enseñanza Aprendizaje.....	33
2.2.1 Enfocar o contextualizar.....	34
2.2.2 Comprender.	34
2.2.3 Definir	36
2.2.4 Diseñar o concebir	39
2.2.5 Implementar.....	41
2.2.6 Evaluar	42
Capítulo 3 Secuencia de Enseñanza Aprendizaje.....	44
Carta al Alumno	46
Carta al Docente	48
3.1. Primer Momento de la Secuencia de Enseñanza Aprendizaje Fenómenos Corpusculares y Ondulatorios.....	50
Autoevaluación.....	52
3.2 Segundo Momento de la Secuencia de Enseñanza Aprendizaje: la Divisibilidad de lo Indivisible.....	52

Autoevaluación	68
3.3 Tercer Momento de la Secuencia de Enseñanza Aprendizaje Más que una Crisis	69
3.4 Cuarto Momento de la Secuencia de Enseñanza Aprendizaje: una Nueva Ciencia, un Nuevo Átomo.....	72
Relaciones de Indeterminación.....	75
Autoevaluación.....	85
Referencias.....	86
Los autores.....	93
Zulman Estela Muñoz Burbano	93
Jordi Solbes Matarredona.....	93
Gustavo Adolfo Marmolejo Avenia	93
Germán Ramos Zambrano	93
Índice de imágenes	94
Índice de tablas	95

Prólogo

La ciencia es una parte integral de la cultura. No es esta cosa extranjera, realizada por un arcano sacerdocio. Es una de las glorias de la tradición intelectual humana
(Stephen Jay Gould)

Lo ideal sería tener el corazón en la cabeza y el cerebro en el pecho. Así pensaríamos con amor y amaríamos con sabiduría
(Mafalda, personaje de Quino)

Es para mí, motivo de gran alegría prologar este libro. En este escrito se aborda una problemática actual y muy relevante como lo es la enseñanza la estructura atómica de la materia en la educación media, y se lo hace desde un enfoque contemporáneo.

El valor de este escrito radica, por un lado, en la base de lo planteado, ya que se fundamenta en una ardua investigación llevada a cabo por los autores. Por otro lado, el aporte que realiza resulta muy rico tanto por sus elementos conceptuales como funcionales para la enseñanza de la estructura atómica de la materia, porque lo hace desde la base conceptual de la teoría cuántica. En particular, la adopción de este enfoque cuántico para la enseñanza de la estructura de la materia en el contexto de la escuela secundaria colombiana, hace de este libro una propuesta innovadora y de gran interés tanto para investigadores de la Enseñanza de las Ciencias como para los educadores, profesores de Química y de Física de la escuela secundaria.

Acompañado de un conjunto de veintisiete imágenes, el escrito se estructura en tres partes: en la primera, se justifica la necesidad real de una propuesta de enseñanza que promueva el estudio de la estructura atómica de la materia que permita a los estudiantes acercarse a lo que desde la Ciencia acepta y propone hoy en día como el modelo más abarcativo y preciso: el modelo cuántico. Allí se presentan las razones por las cuales es preciso diseñar una secuencia de enseñanza aprendizaje que suscite el estudio del campo de conceptos e ideas relativas a la estructura de la materia en Colombia. También en esta parte se presenta un análisis de cómo los libros de texto proponen el tratamiento de este campo, desde una postura crítica que permite comprender el problema de su enseñanza.

En la segunda parte, se justifica el diseño y la validación de una secuencia de aprendizaje desde los referentes conceptuales utilizados, que también es producto de un arduo trabajo de investigación. Se presentan detalladamente las consideraciones y decisiones didácticas, epistemológicas y cognitivas realizadas, lo cual aporta gran coherencia a todo el texto.

Finalmente, en la tercera parte, se presentan detalladamente las actividades de enseñanza-aprendizaje, adaptadas al razonamiento de los estudiantes, junto con orientaciones para el educador y para los estudiantes, y comentarios específicos para que quien aplique la propuesta pueda extraer de ella el máximo provecho posible.

El texto en su conjunto ofrece elementos para una enseñanza de la estructura de la materia con sentido para sus estudiantes, esto es, desde una perspectiva que considere su participación activa en el proceso de construcción del conocimiento, su contexto y los vínculos con el saber, como también las interacciones con sus pares en el aula de clases, componentes tan importantes como los mismos conceptos científicos a ser aprendidos.

Por todo ello, invito al lector a que se adentre en las páginas de este libro, con el propósito de sumergirse en los planteos y aportes aquí realizados, y así abordar los nuevos desafíos que se proponen, tanto para la investigación como para la enseñanza de las Ciencias.

María de los Ángeles Fanaro
Tandil, Buenos Aires Argentina
Diciembre de 2021

Introducción

Este libro tiene como propósito aportar elementos conceptuales y funcionales para la enseñanza de la estructura atómica de la materia EAM desde la base conceptual de la teoría cuántica. Es preciso destacar que, hace parte de un conglomerado de reflexiones desarrolladas en el marco de la investigación doctoral *Enseñanza de la estructura atómica de la materia en la educación secundaria en Colombia* (Muñoz Burbano, 2020), la cual consideró tanto las ideas que los educadores perciben sobre la manera de enseñar la EAM, como los conceptos que los estudiantes de grado 11 (once) relacionan con este tema; además de las carencias conceptuales, las dificultades didácticas y los errores conceptuales incluidos en los libros de texto al tratar esta unidad de enseñanza (Muñoz Burbano et al., 2020; Muñoz Burbano, 2020).

Ahora bien, la cartilla considera el contexto en el que se promueve la enseñanza de la EAM en el sistema educativo colombiano, razón por la cual, su diseño asumió avances conceptuales desarrollados en la didáctica de las ciencias naturales, puntualmente, los referidos a la didáctica sobre la enseñanza de conceptos cuánticos en la educación secundaria. Dicho campo de investigación aporta conocimiento teórico y aplicable para la enseñanza y aprendizaje de las ciencias.

Además, esta cartilla constituye un apoyo para los educadores que promueven la enseñanza de la química, pues, aporta elementos para reflexionar sobre la importancia de la EAM en los procesos de formación, de similar manera, de su inclusión en los currículos de ciencias naturales en la educación media colombiana. No obstante, el principal aporte de la cartilla es plantear actividades para ser realizadas por los estudiantes bajo la orientación de los educadores, esto último, a manera de un libro de actividades (secuencia de enseñanza aprendizaje).

En este orden de ideas, el proceso de diseño y validación de la secuencia de enseñanza aprendizaje que se presenta en esta cartilla, se fundamenta en el marco metodológico Design Based Research desarrollado por Easterday, Lewis y Gerber (2014), ya que considera implicaciones didácticas como: trabajar dentro de un contexto específico, conocerlo, analizarlo y tomar decisiones de diseño acordes a la situación caracterizada; esta metodología, se basa justamente en la posibilidad de contextualizar el diseño de una secuencia de enseñanza aprendizaje, conocer el entorno y partir de este, donde las decisiones que se toman para articularlas a la secuencia surgen del contexto.

En coherencia con lo anterior, el proceso de diseño y validación de la secuencia de enseñanza aprendizaje es una actividad de investigación intervencionista, pero también producto, o una unidad de currículo, que incluye actividades de enseñanza-aprendizaje bien investigadas empíricamente adaptadas al razonamiento de los estudiantes (Guisasola et al., 2017). Así, el diseño de la propuesta que se encuentra a continuación, está validado en el desarrollo de una investigación que implicó el trabajo con la secuencia de enseñanza aprendizaje reseñada, cuyos resultados de aplicación fueron sometidos a un análisis riguroso, del que se concluye que aporta elementos conceptuales y didácticos ajustados a la educación secundaria (Muñoz Burbano, 2020).

Por otra parte, dentro de la metodología de investigación basada en el diseño, es fundamental para el proceso de mejora en la enseñanza y el aprendizaje el “crear conocimiento útil y avanzar en la construcción de teorías sobre el aprendizaje y la enseñanza en ambientes complejos” (Design-Based Research Collective, 2003, p.5). Desde esta perspectiva, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el análisis de la enseñanza y del aprendizaje de la EAM (Muñoz Burbano, 2020), se considera tres demandas de aprendizaje (requerimientos en temáticas específicas) para el desarrollo de la secuencia: la primera, la ruptura entre la física clásica y la teoría cuántica; la segunda la distinción entre modelos clásicos, semi-cuántico y cuántico; y la tercera, abordar el modelo cuántico.

Así las cosas, esto implica abordar conceptos fundamentales como: las propiedades de los objetos cuánticos (como el electrón), las relaciones de indeterminación de Heisenberg, los números cuánticos, los niveles de energía y el concepto de orbital como estado del electrón.

De este modo, las anteriores demandas de aprendizaje, permiten configurar los corredores conceptuales (se asumen como escenarios que incluyen temáticas, actividades, además se prevén situaciones problemáticas, relacionadas con el aprendizaje de los estudiantes, así como ideas previas) que configuran escenarios de aprendizaje (Confrey, 2006). Estos corredores conceptuales parten de las temáticas a desarrollar en este caso, dentro de la Unidad de Estructura Atómica de la Materia, pero tienen en cuenta las ideas previas de los estudiantes, previendo incluso las dificultades que estas ideas previas pueden generar, con base en el conocimiento del entorno y de la investigación didáctica al respecto. Esto genera material potencial que permite al docente anticipar un poco el desarrollo de la temática, tomando en consideración posibles actividades que se articulen a los contenidos.

Para precisar, la cartilla se compone de tres capítulos: en el primero, se expone, adapta y justifica el problema que existe con la enseñanza de la teoría cuántica de la materia en el sistema educativo colombiano, en este sentido, se contextualiza cómo los referentes que organizan la enseñanza de las ciencias naturales en Colombia suscitan reflexiones asociadas a la teoría atómica de la materia; asimismo, se describe cuál es el lugar que la investigación educativa asigna a dicho tópico como objeto de reflexión en el sistema educativo colombiano; además, en este capítulo se caracteriza la forma cómo los libros de texto proponen la enseñanza de la EAM. Finalmente, se establece, a manera de conclusión, las razones por las cuales es preciso diseñar una secuencia de enseñanza aprendizaje que suscite el estudio de la EAM en Colombia.

Luego, en el segundo capítulo se describen los referentes conceptuales que organizaron el diseño de las actividades que conforman la secuencia de enseñanza aprendizaje que

se expone en la presente cartilla. En este caso, se establecen los principales aspectos que determinan tanto la teoría socio-constructivista y la metodología Diseño de Secuencias de Enseñanza Aprendizaje basado en la investigación como la caracterización formal del concepto de teoría atómica de la materia. posteriormente, se describen los pasos que se consideraron para el diseño de la secuencia de enseñanza aprendizaje, aquí se referencia, de manera puntual (y ejemplificativa), los efectos de cada paso en las decisiones asumidas en el proceso de diseño y validación.

Finalmente, en el tercer capítulo se presenta la secuencia de enseñanza aprendizaje, la cual considera cuatro momentos de enseñanza a saber: Fenómenos corpusculares, la divisibilidad de lo indivisible, más que una crisis y una nueva ciencia, un nuevo átomo. Con el objeto de ayudar a la aplicación de la propuesta se incluyen, en este capítulo, orientaciones generales para el educador (carta al docente) y para los estudiantes (carta al alumno). Igualmente, paralelo a las actividades que conforma la secuencia de enseñanza aprendizaje, se incluyen comentarios específicos para quien aplique la propuesta pueda extraer de ella el máximo provecho posible.

Cabe destacar que, la didáctica de las ciencias naturales durante los últimos años se ha constituido en un cuerpo sistemático de investigación, el cual "aporta conocimiento teórico y aplicable para la enseñanza y aprendizaje de las ciencias" (Muñoz Burbano, 2020 p. 46). . La didáctica de las ciencias naturales, entendida como: la didáctica especial que tiene, por objeto de estudio, el proceso de enseñanza - aprendizaje de los contenidos relacionados con los sistemas y los cambios físicos, químicos y biológicos o fenómenos naturales en general, además tomando en consideración el lugar del hombre en la relación naturaleza-sociedad (Camejo y Molina, 2007), abre las puertas a la reflexión de la enseñanza y el aprendizaje de saberes específicos, como es el caso de la enseñanza y aprendizaje de la teoría cuántica.

En este sentido, lo anterior sugiere que la didáctica de las ciencias naturales es una disciplina autónoma, centrada en el objeto de enseñanza (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2002), por ello, esta propuesta para la enseñanza de la teoría cuántica articula tanto la investigación didáctica como el aporte de la epistemología y la historia de las ciencias.

Por otra parte, consideramos que más allá del diseño basado en la investigación de una propuesta de enseñanza para la teoría cuántica, será la fundamental que los docentes en ejercicio puedan llevarla al aula (Muñoz Burbano, 2020), enriquecerla y fortalecerla en su respectivo contexto, en su entorno, de ahí la necesidad de que este recurso didáctico llegue al docente, al aula e incluso pueda ser utilizado por los estudiantes en su proceso de formación.

Con base en lo anterior, esta cartilla, es un apoyo para el desarrollo de esta Unidad de Estructura Atómica de la Materia, ya que, al considerar que es necesario generar conocimiento útil en la orientación de la enseñanza de la EAM en la educación secundaria desde el área de química (Muñoz Burbano, 2020), se plantean actividades para ser realizadas por los estudiantes, bajo la orientación del profesor, a manera de un libro de actividades.

Es importante aclarar que, la secuencia de enseñanza diseñada se presenta en esta cartilla como recurso para el docente, asumiendo que el diseño de una secuencia de enseñanza no solo es una actividad de investigación de corte intervencionista sino que además es un producto (o paquete de unidad del currículo tradicional), en estas se incluye procesos de

enseñanza – aprendizaje adaptadas al razonamiento de los estudiantes (Guisasola et al., 2017). Lo cual, quiere decir que una vez se caracterizó una situación de enseñanza, que en este caso es enseñanza de la EAM desde la base conceptual de la TC, se interviene en dicha situación con el diseño de la secuencia.

En suma, desde esta perspectiva y dentro de la metodología de investigación basada en el diseño, es fundamental para el proceso de mejora, tanto de la enseñanza como del aprendizaje: “crear conocimiento útil y avanzar en la construcción de teorías sobre el aprendizaje y la enseñanza en ambientes complejos” (Design-Based Research Collective, 2003, p. 5). Por ello y teniendo en cuenta que la EAM se plantea principalmente desde la química y abarca la teoría atómica, modelos atómicos, distribución y configuración electrónica, así como tabla periódica, estos temas implican necesariamente hacerlo desde la base conceptual de la TC.

Sintetizando, asumir esta base conceptual permitiría no solo actualizar el conocimiento a desarrollar en el aula, sino evitar omisiones que a su vez configuran errores conceptuales que implican aprendizajes insuficientes o parciales de la naturaleza atómica de la materia. Desde esta base y teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el análisis de la enseñanza y del aprendizaje de la EAM, es importante establecer las demandas de aprendizaje, que, para esta unidad, se determinaron en tres intencionalidades: la ruptura entre la física clásica y la teoría cuántica, la distinción entre modelos clásicos, semicuántico y cuántico, y abordar el modelo cuántico (Muñoz Burbano, 2020).



Esto por su parte, implica abordar conceptos fundamentales como son: las propiedades de los objetos cuánticos como el electrón, las relaciones de indeterminación de Heisenberg, números cuánticos, niveles de energía y el concepto de orbital como estado del electrón; estas demandas de aprendizaje a su vez establecen los corredores conceptuales que configuran escenarios de aprendizaje (Confrey, 2006).

Capítulo 1:

¿Por qué es necesaria una secuencia de enseñanza aprendizaje que promueva el estudio de la estructura atómica de la materia?



Capítulo 1

¿Por qué es necesaria una secuencia de enseñanza aprendizaje que promueva el estudio de la estructura atómica de la materia?

1.1 Estructura Atómica de la Materia en el Currículo Colombiano

La Ley General de Educación de la República de Colombia (Ley 115 de 1994) establece la formación científica básica como uno de los fines de la educación (Artículo 5, numerales 5, 7, 9). Con el objeto de garantizar la formación en dicho sentido, el Ministerio de Educación Nacional (ente encargado de establecer las políticas que organizan la enseñanza en Colombia) expidió una serie de documentos que establecen los criterios a considerar en la enseñanza de las *Ciencias Naturales: Lineamientos Curriculares para Ciencias Naturales y Educación Ambiental* (Ministerio de Educación Nacional de Colombia, 2000), *Estándares Básicos de Competencias para Ciencias Naturales* (Ministerio de Educación Nacional de Colombia, 2006) y *Derechos Básicos de aprendizaje en Ciencias Naturales* (Ministerio de Educación Nacional de Colombia, 2016). No obstante, estos documentos no evidencian una orientación clara ni precisa con respecto a la enseñanza de las ciencias modernas y contemporáneas.

Lo anterior, es claro cuando se establece:

...pretende así ofrecer orientaciones conceptuales, pedagógicas y didácticas para el desarrollo curricular en el área, desde el preescolar hasta la educación media, de acuerdo con las políticas de descentralización pedagógica y curricular a nivel nacional, regional, local e institucional, y además pretende servir como punto de referencia para la formación inicial y continuada de los docentes del área. (Ministerio de Educación Nacional de Colombia, 2000 p.1)

Los lineamientos curriculares describen “el horizonte deseado en la formación en ciencias para Colombia” (Ministerio de Educación Nacional de Colombia, 2000). Puntualmente, establecen orientaciones epistemológicas, pedagógicas y curriculares específicas a considerar en la enseñanza de las ciencias naturales, tal como lo describe la cita anterior, ofrecen un punto de referencia para la formación inicial y continuada de los docentes en ciencias (Muñoz Burbano, 2020).

Es así como el sentido del área de ciencias naturales y educación ambiental:

...es precisamente el de ofrecer a los estudiantes colombianos la posibilidad de conocer los procesos físicos, químicos y biológicos y su relación con los procesos culturales, en especial aquellos que tienen la capacidad de afectar el carácter armónico del ambiente. Este conocimiento debe darse en el estudiante de forma tal que pueda entender los procesos evolutivos que hicieron posible que hoy existamos como especie cultural y de apropiarse de ese acervo de conocimientos que le permitan ejercer un control sobre su entorno, siempre acompañado por una actitud de humildad que haga ser consciente siempre de sus grandes limitaciones y de los peligros de un ejercicio irresponsable de este poder sobre la naturaleza puede tener. (Ministerio de Educación Nacional de Colombia, 2000 p.7)

Los lineamientos Curriculares, desde el apartado de “Ciencia y Tecnología”, al referirse a la Naturaleza de la Ciencia, enuncian: “la ciencia es un juego que nunca termina, en el que la regla más importante dice que quien crea que algún día se acaba, sale del juego” (Ministerio de Educación Nacional de Colombia, 2000 p. 11).

Sin embargo, y pese a la insistencia de la importancia de actualizar el conocimiento, no se encuentra dentro de este documento. Incluso, no aluden a la ciencia moderna y contemporánea, sea en términos de TC, sea en cuestiones asociadas a la teoría de la relatividad (Solbes, Muñoz Burbano y Ramos Zambrano, 2019).

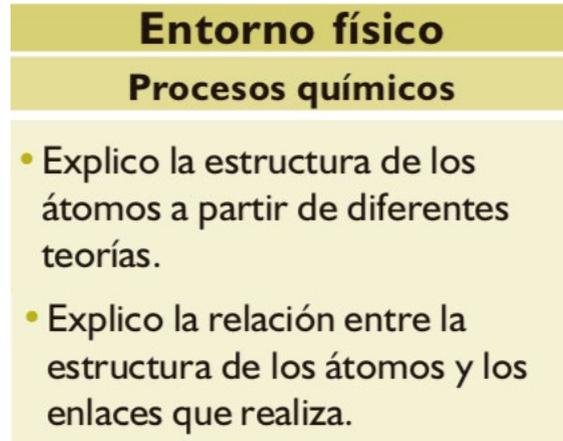
Los Estándares Básicos de Competencia de Ciencias Naturales (Ministerio de Educación Nacional, 2006), por su parte, aportan elementos para homogenizar la enseñanza de las ciencias naturales en Colombia, constituyen, la guía sobre lo que los estudiantes deben saber y saber hacer con lo que aprenden (Calderón Uribe et al., 2018). Además, son el referente a considerar por los educadores para evaluar los niveles de desarrollo de las competencias científicas que se deben desarrollar en la vida escolar. Tal como lo muestra la imagen 1, se establece lo que es necesario saber desde los Estándares Básicos de Competencias.

Formar en ciencias: el desafío!

**Lo que necesitamos
saber y saber hacer**

*Imagen 1 Estándares Básicos de Competencias
Fuente: (Ministerio de Educación Nacional de Colombia, 2006, p. 1)*

Para el grado décimo y once, en la columna “manejo conocimientos propios de las ciencias naturales” ((Ministerio de Educación Nacional de Colombia, 2006), que a su vez se subdivide en procesos biológicos, procesos físicos y procesos químicos se encuentra los siguientes estándares relacionados con la EAM, la imagen 2 es muestra de dicha distribución.



*Imagen 2 Estándares relacionados con la Teoría Cuántica. Tomadas de Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales
Fuente: (Ministerio de Educación Nacional de Colombia, 2006)*

Si bien, no se especifica directamente la enseñanza de la TC, sí determina la necesidad de enseñar la estructura de los átomos desde diferentes teorías, tal como lo muestra la imagen 5. Como se ha explicado antes, la TC es necesaria para abordar la estructura de la materia, sin embargo, esta temática no siempre se aborda en la educación secundaria, especialmente, por cuanto se considera compleja de abordar en su formalismo matemático o por cuanto algunos docentes no se sienten preparados para ello (Muñoz Burbano, 2020).

De manera paralela, con respecto a los *Derechos Básicos de Aprendizaje* (Ministerio de Educación Nacional de Colombia, 2016), entendidos como “un conjunto de aprendizajes estructurantes que han de aprender los estudiantes en cada uno de los grados de educación escolar, desde transición hasta once” (Ministerio de Educación Nacional de Colombia, 2006, p.5), no hacen alusión a la EAM o la TC, en ninguno de sus apartados.

Con base en lo anterior, el objetivo general de la enseñanza de las ciencias naturales en Colombia es que el estudiante desarrolle un pensamiento científico, el cual le permita contar con una teoría integral del mundo natural dentro del contexto de un proceso de desarrollo humano igualmente integral, equitativo y sostenible que le proporcione una concepción de sí mismo y de sus relaciones con la sociedad y la naturaleza armónica con la preservación de la vida en el planeta (Ministerio de Educación Nacional de Colombia, 2006).

A partir de lo anterior, es relevante preguntar sobre sí ¿Es posible desarrollar un pensamiento científico en el contexto actual sin que exista un trabajo explícito que suscite la reflexión sobre los fundamentos científicos desarrollados desde inicios del siglo XXI? La respuesta sería “no”, si se trabajan solo conocimientos desarrollados hasta el siglo XIX, pero no se abordan aquellos que han transformado la forma de vida y de comprender la realidad, si no se aborda el acervo de conocimientos desarrollados desde inicios del siglo XX, con toda la implicación tecnológica el desarrollo de un pensamiento científico puede verse muy limitado.

En este orden de ideas, la presente cartilla propone una secuencia de enseñanza que suscita el estudio de la EAM desde reflexiones químico-conceptuales, epistemológicas y didácticas, las cuales articulan la TC y promueven una enseñanza centrada en el contexto actual. Se ha expuesto que la TC, permite comprender la estructura de los átomos, la formación de enlaces, así como el desarrollo tecnológico del momento, la pluralidad e indeterminismo de la ciencia y su proceso de construcción.

Lo anterior, permite plantear elementos funcionales para promover una formación científica a través de la educación secundaria en Colombia. Por tanto, desde esta cartilla se aporta a la consecución de los objetivos que se deben considerar para lograr una formación científica básica, pues, como lo indican Castro y Ramírez (2013), los logros alcanzados con respecto a los objetivos propuestos son limitados, la enseñanza se encuentra suscrita al pasado y no siempre en la escuela se adquieren las herramientas necesarias para desenvolverse en un mundo icónico y cambiante como el actual.

A partir de lo anterior, se infiere que la educación científica en Colombia presenta dificultades. Ha pasado más de un siglo del avance de la física moderna, expresada como TC y teoría de la relatividad; sin embargo, es posible afirmar que su enseñanza en Colombia sigue siendo un campo muy poco explorado (Muñoz Burbano, 2020). La enseñanza de la física moderna responde a los mismos mecanismos de recepción tardía, como en su momento, sucedió con la física clásica (Villaveces, 2000; Martínez-Chavanz, 2004), posiblemente, por el énfasis especial a la enseñanza de la física clásica, y en el caso de la química, a la enseñanza de su lenguaje y de estequiometría, sin dar lugar a las nuevas teorías, como es el caso de la TC y la teoría de la relatividad.

1.2 Algunos antecedentes en la Investigación Educativa Colombiana sobre la Enseñanza de la Estructura Atómica de la Materia

En Colombia son pocos los estudios que asumen la enseñanza de la estructura de materia, desde la base conceptual de la TC, por esto, la descripción que a continuación se realiza, parte de un análisis general a la enseñanza de la Física y Química modernas, tomando como referente la Estructura de la Materia.

En efecto, desde inicios de este siglo, se han generado interrogantes sobre la brecha entre los currículos en ciencias y los avances científicos del momento, este es el caso de Martínez-Chavanz (2004 y 2005), autor que ha presentado una posición crítica frente a la recepción de la física en Colombia (Muñoz Burbano, 2020), además, plantea el interrogante frente a la manera cómo esta ciencia se aborda en los currículos de educación secundaria e incluso universitaria (Paty y Martínez-Chavanz, 2004). Para Martínez-Chavanz (2004), en Colombia no se enseña Física Moderna: TC o teoría de la relatividad, esto debido a que no se comprende su importancia y tampoco se asume su pertinencia en el mundo actual, dejando un vacío importante en la educación secundaria e incluso en la formación superior.

Por otra parte, Villaveces Cardoso (2000a), centra su atención en la enseñanza de la teoría atómica desde el estudio de la química, particularmente, afirma que en Colombia la química es una "disciplina muy fuertemente desarrollada en sus aspectos prácticos y fuertemente enraizada en el mundo contemporáneo, pero con bases teóricas endebles y con una relación problemática con el conjunto de la ciencia natural" (p.10); además, llama la atención sobre

cómo la química en su papel de disciplina científica, no se preocupa por la forma en como es entendida y la clase de conocimiento que genera (Muñoz Burbano, 2020).

También, el mismo Villaveces Cardoso (2000b) advierte que en el caso de la enseñanza de la física, se enseña a “semipensar newtonianamente” y en el caso de la enseñanza de la química, los estudiantes quienes se van a desenvolver en el siglo XXI manejan moléculas, con ingenuas imágenes mecánicas, precuánticas, reforzadas por lo que aparece en los libros de texto. Lo anterior, evidencia la necesidad de actualizar los currículos tanto de la educación secundaria, como de la superior.

De igual manera, Villaveces-Cardoso (2000b) establece una distinción epistemológica entre el impacto de la TC en la física y el impacto de esta teoría en la química (Muñoz Burbano, 2020), pues pese a ser el mismo marco conceptual, no impacta de la misma manera: si bien, la TC se supone es un paso definitivo “en la desintegración de la visión mecánica del mundo” (p. 18) -situación que se ha comprendido en la física-, en la química, por el contrario, “debido al uso generalizado de la aproximación de Born-Oppenheimer, se reforzó la imagen mecánica” (Villaveces-Cardoso, 2000b, p. 18).

En relación con lo anterior, en Colombia, la enseñanza de la estructura de la materia no se desarrolla de manera adecuada, es decir, se privilegia una enseñanza descriptiva, cronológica a través de la construcción de prototipos planetarios de los modelos atómicos (Villaveces-Cardoso, 2001); por otra parte, y tal como lo menciona el autor, la formación inicial de los profesores de ciencias y la forma cómo se presenta la estructura atómica de la materia en los libros de texto, influye en la forma como se promueve su enseñanza (Villaveces-Cardoso, 2001).

Otras investigaciones en Colombia, concluyen que, la enseñanza de la mecánica cuántica, como parte de la física moderna, es un campo en formación; ya que no se desarrollan estos temas en las aulas de educación secundaria, lo cual podría tomarse como una omisión deliberada (Castrillón Freire y Rodríguez, 2014). Los autores, Asimismo, evidencian un desfase entre los avances científicos y los procesos de enseñanza en el aula, pues la TC siendo una teoría fundamental en el desarrollo científico y tecnológico del momento no se trabaja (Castrillón et al., 2014)

En resumen, existe un panorama desalentador en la enseñanza de la TC en la educación secundaria, por cuanto no se asume su importancia conceptual y tampoco se enseña. De igual manera, no se encuentran muchas investigaciones al respecto, lo que limita su difusión. Por lo anterior, se considera la necesidad de buscar alternativas de enseñanza que articulen la investigación didáctica y el análisis de nuestro sistema educativo en beneficio de su actualización.

En consecuencia, la actualización de los currículos de ciencias naturales tanto en los planes de estudio de la educación secundaria, como en la formación de los docentes -educación superior-, es una necesidad; pues, en los actuales documentos curriculares, se evidencia un apego a ciertos contenidos y programas escolares arcaicos (Aliberas, 2006). Consideramos que: “Uno de los aspectos donde la ciencia puede hacer sus mayores aportes en una sociedad como la colombiana, es justamente en la educación” (Rodríguez, 2013, p.12) y para ello, urgen procesos de actualización de la enseñanza de las ciencias naturales en las aulas colombianas. Por otra parte, Chamizo (2005) desde un enfoque curricular, afirma que en la enseñanza de la

química se han establecido tres puntos específicos: 1) el “método” para referirse al análisis y la síntesis; 2) la “medida”, que corresponde al concepto de mol y las relaciones estequiométricas; 3) el “lenguaje”, correspondiente a la nomenclatura química. Teniendo en cuenta, que la experimentación no siempre es posible en el aula de clases, queda el interrogante ¿por qué se da tanto énfasis a estos temas? e incluso, el mantenimiento por tradición de términos de significado equívoco, por ejemplo: normalidad (Caamaño e Irazoque, 2009).

No es posible, mantener por tradición temáticas específicas, con conceptos incluso polisémicos, o que han cambiado con el tiempo (Caamaño e Irazoque, 2009). Volviendo al ejemplo de “normalidad”, este es uno de esos conceptos que por tradición implica una inversión importante en el tiempo de enseñanza de la química. De esta manera, la invitación, es entonces a modernizar nuestros currículos y priorizar de acuerdo a las necesidades actuales, los contenidos a trabajar.

Desde esta perspectiva, la teoría atómica y los modelos atómicos son aspectos fundamentales para la comprensión de la EAM (Lombardi y Martínez, 2012) y como temática incluye: teoría atómica, modelos atómicos, distribución y configuración electrónica, su relación con la tabla periódica y su enseñanza quedaría incompleta y genera muchas carencias conceptuales y epistemológicos e incluso errores conceptuales (Solbes, Calatayud, Climent y Navarro, 1987). Por lo anterior, si la enseñanza de la EAM no se aborda desde la base conceptual de la TC esta queda incompleta.

1.3 La Estructura Atómica de la Materia en los Libros de Texto Colombianos

La enseñanza de la EAM enfrenta otro problema importante, el manejo que los libros de texto dan a esta unidad de enseñanza. Pudiera ser que los docentes no se sientan preparados para abordar la temática, lo que otorga a los libros de texto un papel predominante en su enseñanza (Lima, Ostermann, Cavalcanti, 2017). Los libros de texto, han sido definidos como materiales de los currículos escolares (Muñoz Burbano, 2020). Algunos autores como los presentan como herramientas mediadoras, que traducen y concretan conceptos incluidos en los documentos curriculares prescritos por las instituciones que reglamentan los sistemas educativos, tal es el caso de: Martínez (2002), Sacristán (2005) y Solarte (2006).

Esto, aunado a la importancia misma que los docentes puedan atribuir a los libros de texto, permiten concluir que, efectivamente, existe una relación importante y causal entre textos y procesos educativos, de ahí que, el estudio de los unos no podría darse por completo sin el reconocimiento de los otros (Páez Vanegas, 2016).

En Colombia, es tangible la relación existente entre los estándares curriculares y los libros de texto, incluso se han llegado a determinar como productores de políticas curriculares, debido a que las reinterpretan y crean nuevos sentidos (Gomes de Abreu et al., 2005), sin embargo, los libros de texto desarrollan contenidos desactualizados, pudiéndose considerar como simplificados o reduccionistas, e incluso con errores conceptuales y no solo en libros de secundaria, sino también de educación superior (Ibáñez y Ramos, 2004; Álvarez, Nuño y Pérez, 2006; Quílez, 2006, 2009; Cohen y Yarden, 2010). Igualmente en el panorama nacional, para el caso específico de los modelos atómicos de Rutherford y Bohr las investigaciones realizadas por Gallego et al. (2013), han evidenciado carencias conceptuales

y epistemológicas importantes, este es el caso, de no hacer una distinción entre los modelos clásicos (semicuántico y cuántico), o no la omisión de las propiedades de los objetos cuánticos, la ecuación de Schrödinger o las relaciones de indeterminación.

Igualmente, investigaciones propias permiten detectar que en los libros colombianos la estructura atómica de la materia no toma como referencia conceptual algunos conceptos básicos y necesarios de TC, lo cual privilegia una presentación reducida de la temática, tal como se evidencia en la imagen 3.

Pues bien, la presentación histórica que se hace de los modelos atómicos es cronodescriptiva y acrítica, además, es una mezcla y yuxtaposición de conceptos clásicos y cuánticos. En relación con lo anterior, uno de las cuestiones más llamativas es la incapacidad de asumir el quiebre entre la ciencia clásica y la TC, al no desarrollar temas relacionados con los fenómenos que ponen en evidencia la crisis de la Física Clásica, a saber el efecto fotoeléctrico y la catástrofe del ultravioleta, ni detallar la inestabilidad del átomo de Rutherford (Muñoz Burbano, 2020).

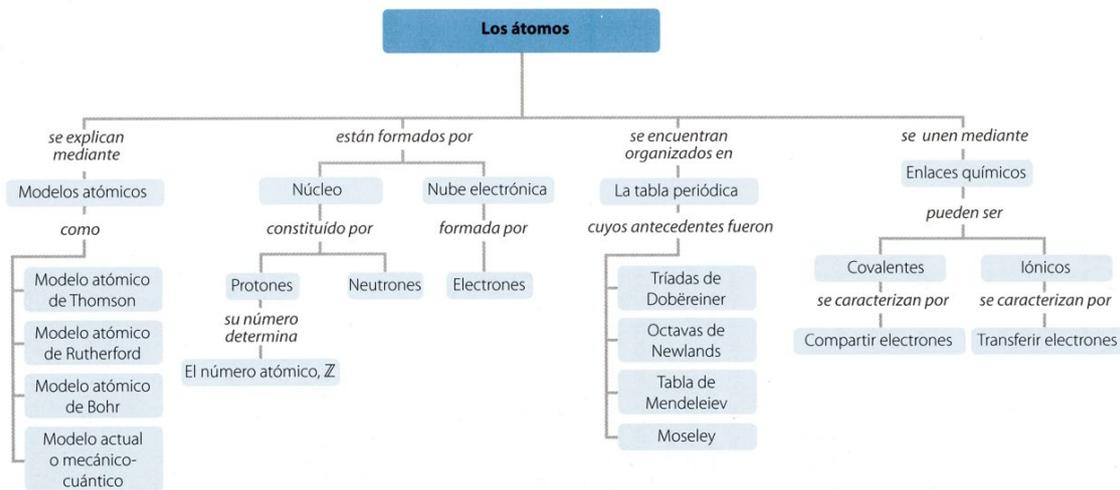


Imagen 3 Mapa Conceptual sobre la Unidad de Estructura de la Materia (Mondragon et. alt, 2005)

Lo anterior, dificulta de manera directa, que no se presente la TC como una nueva teoría con una lógica diferente, e incluso una ruptura en el pensamiento occidental clásico. De tal manera, algunos conceptos importantes como las relaciones de indeterminación (imagen 4) y la dualidad de los objetos cuánticos se presentan con carencias y restricciones, los términos de nivel, órbita y orbital se trabajan básicamente como sinónimos. De acuerdo con Muñoz-Burbano, Solbes y Ramos (2020) “Los conceptos y nociones fundamentales al respecto son abordados de manera insuficiente, sin profundizar ni relacionar” (p.13), este es el caso de las relaciones de indeterminación de Heisenberg mal llamadas principio de incertidumbre.



Figura 24. Esquema del principio de incertidumbre. Un electrón libre se mueve delante del foco en un microscopio hipotético (a). En la colisión, el fotón de luz transfiere su energía al electrón (b). El fotón reflejado puede verse a través del microscopio, pero el electrón se ha movido del foco de observación, por lo cual es imposible determinar la posición exacta del electrón.

Imagen 4 Presentación de las relaciones de Indeterminación en Mondragon et.al (2005)

1.4. Conclusión

La enseñanza de la TC en la educación secundaria está ampliamente justificada, se considera pertinente y posible, así lo permite inferir la investigación didáctica al respecto, por ejemplo, González, Muñoz Burbano y Solbes (2020) y Solbes (2013) establecen, entre otras, cinco razones para introducir la TC en la Educación Secundaria:

1. A nivel Histórico: La TC contribuye a la desmitificación de la imagen de ciencia, por lo que puede contribuir a una imagen aproximada de cómo se desarrolla la ciencia, en este mismo contexto la TC permite familiarizar al alumno con la forma de trabajo de los científicos, con la naturaleza de la ciencia.
2. A nivel conceptual: la TC contribuye para una la construcción mejor interpretación de la estructura de la materia y la evolución de los fenómenos sub-atómicos (Muñoz Burbano 2020). Además, permite entender el desarrollo tecnológico actual.
3. A nivel de las relaciones ciencia – tecnología - sociedad: Permite comprender la importancia de las aplicaciones como: láser, electrónica (celulares, computadores), superconductividad, entre otros.
4. Como herramienta: Para deslegitimar algunas creencias relacionadas con las pseudociencias (curación cuántica) que pueden incluso ser peligrosas para la salud pública.
5. A nivel actitudinal: Porque son temas de interés para los estudiantes.

De esta manera, se considera necesaria y pertinente una secuencia de enseñanza aprendizaje de la EAM que tome como base conceptual la TC. Por otra parte, se considera la necesidad de fomentar una enseñanza de las ciencias que responda a los fines planteados en la normativa vigente, que responda a la urgencia de una formación científica acorde al desarrollo actual de la ciencia y la tecnología (Muñoz Burbano, 2020). Finalmente, es posible afirmar que para desarrollarse en el mundo, las ciencias naturales e incluso la ciencia puede abrir nuevos espacios al reconocimiento y al goce de otros bienes y valores culturales (Hernández, 2005, p. 2).

De este modo, es necesario asumir que la educación científica debe pensar las ciencias como prácticas sociales y culturales, también reconocer críticamente los usos en pro de un buen vivir y también aquellos destructivos posibles del conocimiento científico y la necesidad de atención y una posición crítica sobre los efectos que el conocimiento científico tiene sobre la naturaleza y sobre las comunidades humanas (Hernández, 2005).



Es así como, es a la Escuela siendo la principal fuente de formación científica, a quien le corresponde generar un espacio de formación científica, que enseñe a pensar desde las ciencias y corresponda con lo planteado por el Ministerio de Educación Nacional (MEN), al buscar que el estudiante haga uso comprensivo del conocimiento científico y se acerque a este como un científico natural (Muñoz Burbano, 2020).

Capítulo 2:

¿Cómo se diseñó y validó la secuencia de enseñanza aprendizaje?



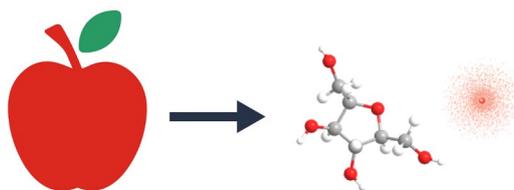
Capítulo 2

¿Cómo se diseñó y validó la secuencia de enseñanza aprendizaje?

La secuencia de enseñanza que se expondrá en el capítulo 3 de la presente cartilla, tiene como propósito aportar conocimientos teóricos y prácticos con respecto a la enseñanza de la TC en el contexto de la estructura de la materia. Para su diseño se asumió una premisa básica de la didáctica de las ciencias experimentales y las matemáticas: La enseñanza de un objeto científico debe considerar las especificidades que lo determinan desde el campo disciplinar del que proviene. Al respecto, existen referentes conceptuales validados científicamente que orientan el diseño de propuestas de enseñanza que susciten el estudio de objetos científicos específicos.

En este sentido, en el presente capítulo, en su primer apartado se presentan los referentes conceptuales que sustentaron el diseño de la secuencia de enseñanza aprendizaje reseñada: Diseño de secuencias de aprendizaje basado en la investigación (Easterday, Lewis y Gerber, 2014), socioconstructivismo (Vygotsky, 1979 y Wertchs, 1993) y EAM (Solbes, Silvestre y Furió, 2010 y Solbes 2014). Por otra parte, el segundo apartado centrará su atención en el proceso de diseño de la secuencia de enseñanza aprendizaje. Puntualmente, se establecerá y definirán los pasos considerados. Igualmente, se reseñará las decisiones asumidas en el proceso de diseño (*enfocar, comprender, definir, diseñar, implementar y evaluar*).

2.1 Referentes Conceptuales que Guiaron el Diseño de la Secuencia de Enseñanza



Contextualicemos desde la teoría Cuántica

Imagen 5 Objetos Macro y microscópicos

Se comprende que un objeto macroscópico es aquel que puede ser descrito por magnitudes extensivas (volumen, longitud, masa) y magnitudes intensivas promedio (presión, temperatura), sin embargo, se dice ser microscópico cuando este no se puede percibir a simple vista y se definen a una escala del orden de un centenar de átomos o moléculas, la imagen 5 permite contextualizar este apartado.

Los fenómenos macroscópicos son explicados por la mecánica clásica: mecánica newtoniana, la teoría electromagnética de Maxwell y la termodinámica; estas describen partículas como elementos localizados que poseen masa y evolucionan en el tiempo de acuerdo a las leyes de Newton. Igualmente, estudian las ondas electromagnéticas como siendo entidades deslocalizadas que se propagan a través de espacio y que su comportamiento es descrito por las leyes de Maxwell del electromagnetismo. Hasta el final del siglo XIX se creía que todos los fenómenos observados y por observar podrían ser entendidos por la física clásica. La imagen 6 muestra una de las propiedades de los fenómenos ondulatorios.

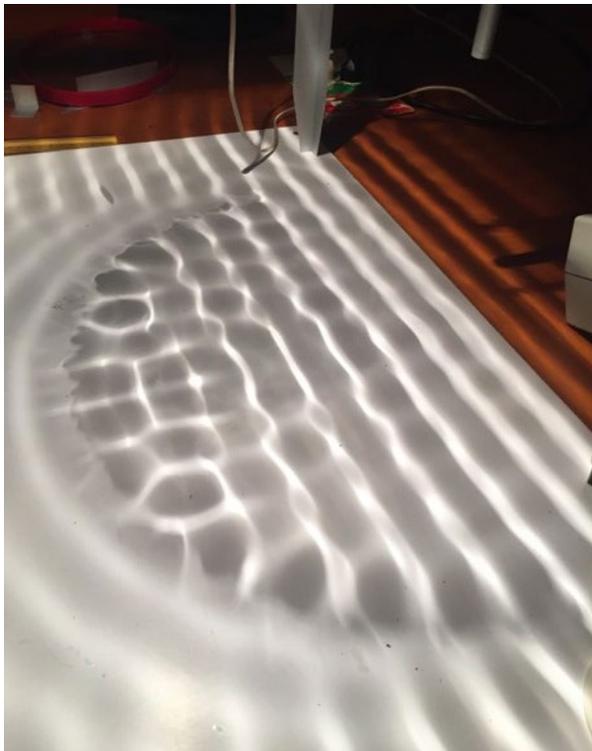


Imagen 6 Fenómenos Ondulatorios.

Clásicamente, un sistema físico estará descrito por un estado, el cual consiste del conjunto mínimo de cantidades medibles que lo describen y que cambian con el tiempo. Es así como, el estado de una partícula de masa m es caracterizado por la posición y el momento de la misma. En el caso de una onda electromagnética, el estado lo definen la amplitud, su frecuencia, su número de onda, su polarización. En un sistema termodinámico el estado lo especifica el volumen, la presión, la temperatura, la cantidad de materia.

De esta manera, en mecánica clásica las variables que caracterizan un estado e identifican un sistema macroscópico pueden siempre ser medibles simultáneamente, a este tipo de observables se las denomina compatibles. Además, si ellas fueran medidas de manera secuencial, el resultado obtenido no se ve influenciado por el orden que se siga.

Ahora, si se especifica el valor de las cantidades que identifican un estado clásico del sistema en un instante de tiempo, por ejemplo $t = 0$, que se conoce como el estado inicial, es posible determinar la evolución temporal del mismo apelando a la segunda ley de Newton lo que implica que se conozcan todas las fuerzas que actúan sobre el sistema; esta ley se fundamenta en una ecuación diferencial cuya solución es una función real de las coordenadas y del tiempo, que permite determinar el valor de las observables asociadas en cada instante.

Ahora, cuando los fenómenos son microscópicos, tales como átomos, moléculas y partículas subatómicas que constituyen la materia, sólo puede ser estudiado por la mecánica cuántica; fue así como la evidencia experimental que surgió a inicios del siglo XX, como rayos X, el efecto fotoeléctrico, los espectros atómicos, el efecto Compton, radioactividad y otros, pudieron ser

explicados de manera consistente. Este tipo de observaciones, sugirieron que los fundamentos de la mecánica clásica no serían suficientes para comprender el mundo microscópico.

En 1897, Joseph John Thomson descubrió los electrones cuando confirmó que los rayos catódicos están conformados de minúsculas partículas con carga eléctrica negativa al percibir que estos eran desviados por un campo eléctrico o magnético.

El origen de la teoría cuántica se dio con el trabajo de Max Planck (imagen 7) en diciembre de 1900 cuando explicó el problema del espectro de emisión de radiación del cuerpo negro, que hace referencia a la radiación electromagnética emitida por un cuerpo negro en equilibrio térmico. A finales del siglo XIX los físicos experimentales lograron medidas precisas y obtuvieron curvas del espectro de radiación de cuerpo negro con gran precisión. El trabajo de Planck consistía en un modelo según el cual la radiación electromagnética intercambia energía con la materia solo en cantidades que son múltiplos enteros de una cantidad de energía fundamental que él denominó quantum; Planck logró obtener una curva compatible con los resultados experimentales.



*Imagen 7 Max Planck.
Considerado el Padre de la
Teoría Cuántica.
Tomado de [https://
culturacientifica.com](https://culturacientifica.com)*

Por otra parte, uno de los interrogantes de la ciencia fue determinar si la luz estaba constituida por partículas o por ondas. Los griegos creían que la luz estaba conformada de elementos de algún tipo de materia, diferente a la materia ordinaria. Christian Huygens en 1678 y posteriormente por Robert Hooke, propusieron que la luz estaba conformada de ondas lo que permitía explicar el fenómeno de reflexión y refracción que la caracterizaba. Sin embargo, Newton en 1704 consideró la luz como corpúsculos, que junto de una serie de hipótesis pudo explicar los fenómenos observados. Esta controversia perduró hasta el siglo XIX cuando Thomas Young confirmó la naturaleza ondulatoria de la luz con el experimento de la doble rendija.

De manera similar, el efecto fotoeléctrico, representado en la imagen 8, no podía ser interpretado tomando como base la naturaleza ondulatoria de la luz. Einstein explicó en 1905 este fenómeno fundamentado en la propuesta de Planck. Según Einstein, la radiación electromagnética es discreta, es decir, está constituida por elementos microscópicos sin masa, sin carga eléctrica, pero con energía y momento lineal bien definidos, denominados cuantos de luz o fotones. Estos cuantos pueden ser creados o destruidos y pueden interactuar con partículas que poseen carga eléctrica. La confirmación experimental de la existencia de los fotones se dio con los experimentos de Arthur Holly Compton al observar un cambio en la frecuencia de los rayos X cuando estos eran dispersados por superficies metálicas pulidas.

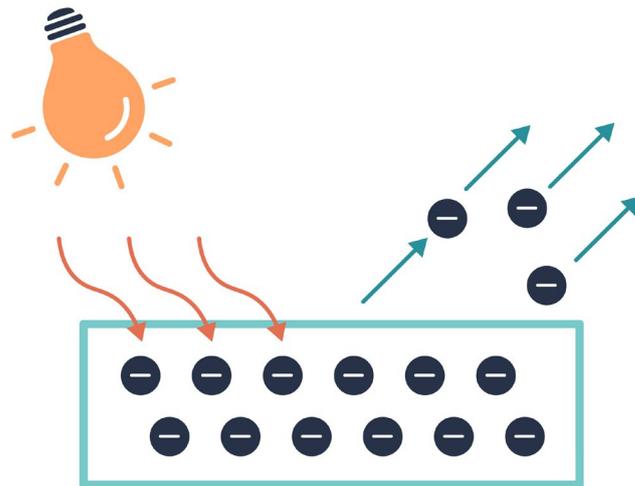


Imagen 8 Representación del efecto foto-eléctrico (construcción propia).

A partir de ahí, la radiación electromagnética interpretada hasta ese momento como una onda electromagnética, paso a tener un carácter corpuscular. Es así, que el comportamiento dual de la luz, onda-partícula, representó un marco de pensamiento racional. Sin embargo, se pudo determinar que los electrones también presentaban este comportamiento dual cuando el experimento de Young fue realizado con un haz de electrones. Este experimento indica que los electrones, y por ende otras partículas cuánticas, comparten el carácter ondulatorio con el electromagnetismo clásico, así como la radiación electromagnética comparte el carácter corpuscular con las partículas clásicas de acuerdo con lo postulado por Einstein.

Adicionalmente, fue Louis De Broglie quien abordó el comportamiento dual que presentaban las partículas cuánticas y propuso que, al estar constituidas de materia, se debería hacer referencia a ellas como ondas de materia, con lo cual el carácter dual hasta entonces propio de la luz, se debería relacionar también a la materia. De acuerdo con De Broglie, la materia tiene una energía relacionada con la frecuencia de la onda asociada, además de una longitud de onda λ vinculada al momento lineal p a través de la relación: $\lambda = \frac{h}{p}$, que se conoce como relación de De Broglie, donde h es la constante de Planck. Así, las propiedades de partícula, como es la energía y el momento, estarán vinculadas con las propiedades de las ondas, como la frecuencia y longitud de onda.

Ciertamente, cuando el objeto de interés es microscópico: un electrón, un protón, un neutrón, un fotón etc., se apela a los fundamentos de la mecánica cuántica para describirlo (sin desconocer que existen sistemas macroscópicos cuánticos como un transistor o un semiconductor). Lo primero que se debe destacar es el hecho de que en un sistema cuántico hay observables incompatibles, como la posición y el momento de un electrón que no se pueden medir simultáneamente; lo anterior, no es una limitación de los instrumentos de medida, sino una característica propia de los objetos cuánticos.

Cabe mencionar que, fue Edwin Schrödinger quien estableció que el estado cuántico de un sistema microscópico es descrito por una función de onda Ψ que es solución de una ecuación diferencial que se conoce como ecuación de Schrödinger, que determina la evolución espacial y temporal de tal función. Esta función contiene toda la información relevante y que se dispone

del estado cuántico del sistema cuántico que se estudia. Matemáticamente, esta función es compleja, por tanto, por sí misma no puede representar una cantidad física medible.

Sin embargo, Max Born propuso una interpretación para $|\Psi|^2$, que se conoce como el módulo al cuadrado de la función de onda, la cual si es una cantidad real. De acuerdo con Born, esta cantidad se interpreta como la densidad de probabilidad de encontrar la partícula en la vecindad de un punto del espacio en un instante dado de tiempo. Las soluciones de la ecuación de Schrödinger proporcionan probabilidades de encontrar las partículas mas no trayectorias.

De acuerdo con esta interpretación, la mecánica cuántica es una teoría estadística, es decir, no determinista, ya que permite calcular la probabilidad del valor esperado de una cantidad física observable en un instante dado; esto, en contraposición con la física clásica que es determinista, según la cual, si se conoce las condiciones iniciales de una partícula macroscópica, es posible determinar, a partir de las leyes de Newton, el estado de la misma en un instante posterior.

En definitiva, el hecho que la teoría cuántica suministre valores posibles junto con la probabilidad de que esto ocurra resultó en la mayor controversia entre Bohr y Einstein. Así, la interpretación de Born de la mecánica cuántica indica que la teoría posee un carácter estadístico y establece que la naturaleza se puede describir en términos de probabilidades.



SOLVAY CONFERENCE 1927

colourized by pastincolour.com

Imagen 9 Conferencia de Solvay 1927

Fuente: <https://www.alamy.es/quinta-conferencia-solvay-de-1927-image416769918.html>

La imagen 9 corresponde a la Conferencia de Solvay celebrada en 1927 y que correpondería a una serie de encuentros científico realizados desde 1911, esta imagen icónica recoge la historia de la Teoría Cuántica.

2.1.1 Diseño de secuencias de enseñanza aprendizaje basado en la investigación.

El aporte del marco conceptual diseño de secuencias de enseñanza aprendizaje basado en la investigación en el proceso de diseño de la secuencia de enseñanza aprendizaje que se expone en la presente cartilla, radica en que promueve la articulación entre referentes conceptuales propios a la teoría de la didáctica de las ciencias experimentales y los elementos curriculares que, a nivel institucional, organizan la enseñanza de la química, también, la inclusión de materiales de enseñanza pertinentes e innovadores y la consideración de los resultados de la investigación en torno a la enseñanza de la química. En este sentido, la cartilla consolida una secuencia de enseñanza aprendizaje como un trabajo sistemático y contextualizado.

Conviene enfatizar que, desde esta perspectiva, que no es consistente hablar, únicamente, de estrategias didácticas en un proceso de diseño de una secuencia de enseñanza aprendizaje, ya que, este término es, en extremo, usado de forma generalizada (en ocasiones arbitraria), en muchos casos, sin recurrir a justificaciones evidenciadas científicamente (Psillos y Kariotoglou, 2016). Al contrario, la construcción de una secuencia de enseñanza desde la metodología de investigación basada en el diseño, implica considerar la necesidad de generar conocimiento útil y práctico para determinado contenido (Guisasola et al., 2017).

Al considerar una secuencia como una actividad de investigación intervencionista, es importante mencionar que en la primera etapa se determinaron unos elementos que permitieron la caracterización de la enseñanza de este tema, asimismo, se constituyeron en insumos para la secuencia. Si la primera etapa es de conocimiento de un fenómeno, con base en los resultados obtenidos, se interviene el fenómeno investigado con un dispositivo que en este caso es la secuencia de enseñanza. De tal manera, que también se configura en un producto, por cuanto se materializa la investigación en un recurso que puede ser utilizado y contextualizado por docentes. Si bien, traza lineamientos generales para la enseñanza, da la suficiente libertad para que sea desarrollado en diferentes contextos, con pocos recursos y se articula a los documentos curriculares.

También, se considera que la secuencia de enseñanza es intervencionista, puesto que, se ha desarrollado en un contexto específico, en este caso dos instituciones -una pública y una privada de educación secundaria- y busca con esto hacer frente a los cuestionamientos realizados por algunos autores a la investigación educativa (Anderson y Shattuck, 2012), que aluden a que este tipo de investigación describe problemas, pero no interviene en ellos para su transformación.

Adicionalmente, es preciso señalar que en esta cartilla, la intervención consolida una fase muy importante en el proceso de diseño de la Secuencia. Se parte del hecho que "La investigación basada en diseño ayuda a entender las relaciones entre la teoría educativa, el artefacto diseñado y la práctica" (Design-Based Research Collective, 2003, p. 5).

Esta decisión permite configurar la sinergia existente entre la practica educativa, la teoría educativa y el diseño de la secuencia de enseñanza. En consecuencia, el artefacto diseñado (la secuencia de enseñanza) acerca la teoría educativa (evidenciada en la investigación didáctica) con la práctica en el aula.

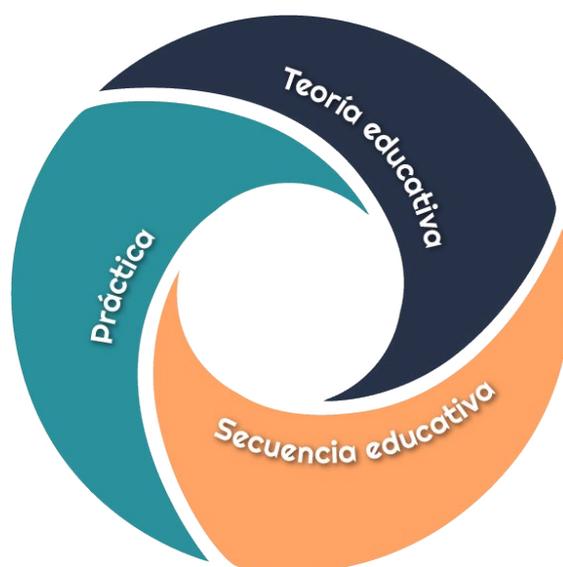


Imagen 10 Aporte de la Investigación Basada en el Diseño.

Por otra parte, cuando se hace referencia a la teoría educativa, se considera esta, resultado de la investigación didáctica y la investigación educativa y cuando se refiere a la práctica, esta es considerada como el quehacer en el aula, el trabajo que desarrolla el docente en su proceso de enseñanza aprendizaje. La imagen 10, representa la relación dinámica en estos tres aspectos descritos.

Desde esta perspectiva, es necesario “crear conocimiento útil y avanzar en la construcción de teorías sobre el aprendizaje y la enseñanza en ambientes complejos” (Design-Based Research Collective, 2003, p.5). Para ello, se considera importante que una secuencia de enseñanza sea validada en el aula a través del quehacer docente, directamente con su aplicación en el aula, esto para que la teoría que nace de esa aplicación sea construida desde la experiencia.

2.1.2 Socioconstructivismo.

Este referente conceptual permite trabajar desde un plano social-interactivo y desde un plano personal (Vygotsky, 1978), de donde es necesario precisar que “construir-conocimiento”, establece que el conocimiento, además de formarse a partir de las relaciones ambiente-sujeto, resulta de la interacción con el entorno social, y los nuevos conocimientos se forman a partir de los esquemas de quien aprende, el producto de su realidad y su interacción con los esquemas de los demás sujetos que lo rodean.

Partir del contexto, tal como se propone en el diseño de esta secuencia de enseñanza aprendizaje, permite asumir que quien aprende genera conocimientos, que se mantendrán si le resultan significativos. Es aquí donde se debe prestar atención a este conocimiento, que es temporalmente viable y no se define por siempre, al contrario, requiere de una práctica reflexiva que lo cuestione y lo ubique en situaciones pertinentes en relación con las prácticas sociales establecidas (Jonnaert, 2001).

En lo que concierne a la TC, lo anterior es especialmente revelador, por cuanto los estudiantes reciben constantemente información relacionada con esta teoría a través de diferentes medios: series de televisión, documentales, películas, incluso publicidad, entre otros. De tal

manera que, al relacionar el conocimiento científico trabajado en la escuela con el trabajo del aula, este adquiere mayor significado.

En efecto, la importancia de tener claridad en cuanto al contexto de enseñanza radica en que, para que los saberes sean significativos para el sujeto estos deben ser articulados con recursos, los cuales pueden ser afectivos, sociales o contextuales. De ahí que, en el proceso de construcción del conocimiento, los estudiantes desarrollan una serie de actividades mediadas por aspectos emocionales y de valores que influyen en los procesos cognitivos (Zembylas, 2005).



Imagen 11 Representación del Socio-constructivismo.

De ahí que, el socioconstructivismo no atribuye ni a quien aprende ni a quien enseña la actividad central de la construcción del conocimiento, sino a la interacción entre ellos (Barberà, 2006). La imagen 11, muestra la idea de interacción entre quien aprende y quien enseña en un contexto de intercambio sociohistórico y cultural. Entonces, para que esta interacción sea efectiva, es necesario involucrar al estudiante desde sus ideas previas o desde los análisis que pueda realizar de acuerdo a situaciones planteadas o al desarrollo de las actividades, tal como se propone en la secuencia de enseñanza aprendizaje propuesta en esta cartilla.

Es por ello que, en el diseño de la secuencia de enseñanza aprendizaje expuesta en el último capítulo de la cartilla, enfatizamos en los aspectos activos y participativos del proceso de enseñanza - aprendizaje a través de diversas herramientas de comunicación, lo que permite recurrir a escenarios de aprendizaje ligados a situaciones cotidianas tales como series y películas entre las cuales se puede mencionar: *Chernobyl*, *Breaking Bad (Metástasis)* y *Copenhagen*, las cuales, habían sido vistas por los estudiantes o estos tenían conocimiento previo sobre su contenido. Lo anterior, permitió vincular el trabajo del aula con los intereses de los estudiantes. De igual manera, se configuraron prácticas experimentales sencillas en un escenario familiar para los estudiantes.

Finalmente, el constructivismo asume el aprendizaje esencialmente activo, que reconoce un papel relevante a quien aprende, el que, a su vez, incorpora a sus experiencias previas y a sus propias estructuras mentales el nuevo conocimiento. Así, la aplicabilidad, y las relaciones con cuestiones sociocientíficas de los conocimientos de la TC puede desarrollar

significado para los estudiantes no solo por las aplicaciones tecnológicas tales como: láser, telecomunicaciones, computadores; sino también, con la necesidad de desmitificar cuestiones pseudocientíficas (Solbes, 2019).

2.2 Fases del Diseño y Validación de la Secuencia de Enseñanza Aprendizaje

La Investigación Basada en el Diseño aporta una serie de fases que contraponen el conocimiento científico, la investigación didáctica y el contexto tanto de quien enseña como de quien aprende. Estos pasos, de naturaleza flexibles, guían el proceso de diseño de una secuencia de enseñanza aprendizaje. En conjunto, se asumen como un sistema interactivo que posibilita la retroalimentación y el rediseño (Trna y Trnova, 2014). Es decir, su consideración implica que, independientemente de los pasos planteados, estos no constituyen, en sí mismos, una camisa de fuerza.

Por otra parte, su naturaleza dinámica, permite, cada vez que sea necesario, incluso en el proceso de aplicación, avanzar y retornar. En el proceso de diseño de la secuencia de enseñanza aprendizaje se trabaja paralelamente tanto en la adecuación del contexto como en la articulación de los pasos planteados. En breve, se permite la aplicación de ajustes y cambios según los resultados obtenidos.

Por su parte, Easterday et al. (2014) proponen seis fases para la puesta en acto de la metodología de desarrollo de la investigación basada en el diseño, tal como se evidencia en la imagen 12 su articulación es de naturaleza cíclica y contempla tanto procesos de diseño como de evaluación y de rediseño de las actividades que constituyen la secuencia de enseñanza aprendizaje.

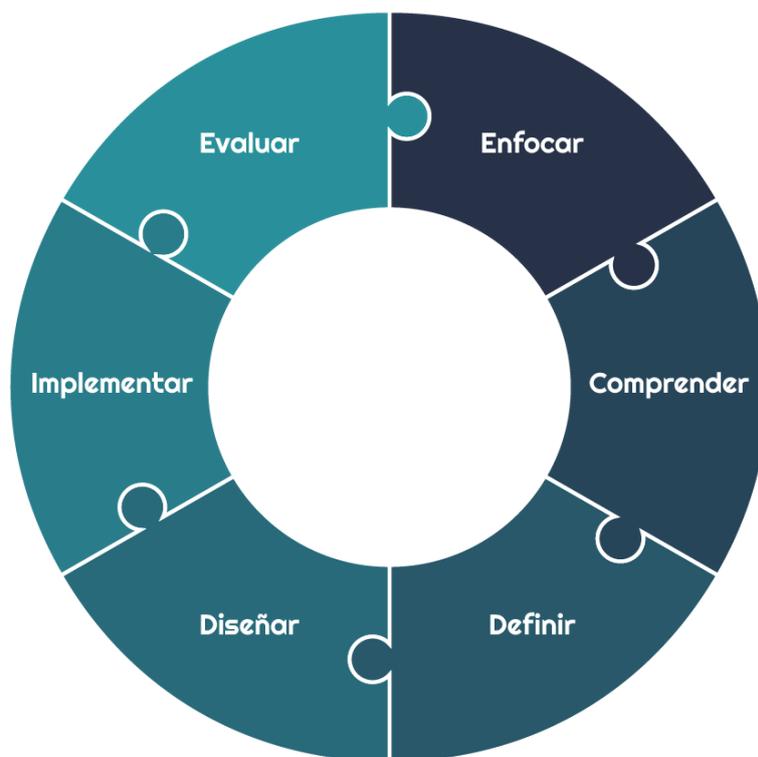


Imagen 12 Representación del Socio-constructivismo.



2.2.1 Enfocar o contextualizar.

Esta fase establece las características generales del contexto en el cual se va a desarrollar la secuencia de enseñanza aprendizaje. Tiene como propósito determinar cuáles son las características de los sujetos a quienes va dirigido el acto educativo y de las temáticas de estudio, asimismo, pretende determinar el alcance de la propuesta a diseñar.

En este sentido, la secuencia de enseñanza aprendizaje presentada se aplicará sobre una población de estudiantes del grado 10 (décimo) de educación básica colombiana. Aunque, según la programación establecida, puede bien ser abordada desde grado previo 9 (noveno). Se trata de estudiantes de grado décimo, preferiblemente, por cuanto en este grado se puede articular a los estándares de competencias del MEN, en grado 10 (décimo) se encuentran estudiantes entre 14 a 17 años en promedio, quienes en su proceso de formación ya han abordado algunos temas relacionados con la estructura de la materia.

Al respecto, es importante partir de la identificación del grado, puesto que permite planear unos contenidos mínimos acordes al grado, que además, se articulen a los documentos curriculares establecidos por el MEN. Los contenidos a desarrollar se relacionan con los modelos atómicos clásicos desde su construcción histórica, la crisis de la física clásica, para lo cual se aborda el efecto fotoeléctrico, la catástrofe del ultravioleta, la inestabilidad del átomo de Rutherford, los espectros atómicos, luego el átomo semicuántico de Bohr, el modelo cuántico y los números cuánticos (n , l , m_l , m_s) y su relación de esto con la tabla periódica de elementos.



2.2.2 Comprender.

En esta segunda fase se analiza a los estudiantes, para ello se consideran elementos teóricos del aprendizaje, en este caso, se seleccionó el socioconstructivismo (Vygotsky, 1979; Wertchs, 1993), el cual es un referente que asigna un lugar especial al contexto y su relación con el saber, su potencia radica en que permite conocer a profundidad el contexto de enseñanza, además, permite, entre variados aspectos, entender la enseñanza como una relación dialógica entre el conocimiento a ser enseñado y quien aprende dicho conocimiento, todo enmarcado en un proceso de construcción propio.

Así las cosas, se hace necesario, partir del conocimiento, los intereses, las creencias y las actitudes de los alumnos y su aporte al aula (Sharma, 2014), ya que esto permite pensar en una enseñanza nacional dentro de los contextos que esto significa: considerar la normativa vigente, el desarrollo científico, los recursos, los libros de texto, las ideas previas de los estudiantes, entre otras cuestiones. Al trabajar con las ideas previas de los estudiantes, es posible conocer los patrones de razonamiento que se esconden detrás de sus ideas, preguntas y procesos de análisis, lo que a su vez permite generar una acción participativa en el desarrollo de la secuencia de enseñanza aprendizaje.

En adición, se debe mencionar dos herramientas fundamentales para concretar esta fase: La primera, denominada análisis epistemológico; la segunda, demanda de aprendizaje. Estas herramientas se complementan además son interdependientes.

- **Análisis epistemológico:** este análisis permite establecer el conocimiento científico que será punto de partida para la secuencia de enseñanza aprendizaje. Es decir, permite la identificación de los contenidos a desarrollar. Para este caso, se vincula la base conceptual de la TC para el desarrollo de la estructura de la materia, y se recogen los resultados de la investigación didáctica que señalan que, en la educación secundaria, es posible desarrollar temáticas de la TC sin abordar el componente matemático (Fernández, González y Solbes 1997; Osterman y Ricci, 2004; Greca y Moreira 2004; Fanaro, Arlego y Otero, 2007; Fanaro, 2009; Otero, Fanaro y Arlego, 2009; Solbes y Sinarcas, 2010; Castrillón et al., 2014).
- **Demandas de aprendizaje:** este momento permite confrontar las diferencias ontológicas y epistémicas entre los las ideas previas de los estudiantes y los contenidos a aprender (esto es demanda o requerimiento de aprendizaje). Trata de establecer cuáles son los contenidos que se requieren o necesitan para desarrollarlos a través de la secuencia de enseñanza aprendizaje. Estas demandas, se entienden como requerimientos de aprendizaje, que también se relacionan con problemas de aprendizaje. En el caso de la TC, se describen problemas relacionados con la complejidad de la enseñanza desde el formalismo matemático, para el cual los estudiantes de secundaria no estarían preparados (Johnston et al., 1998).

Tal como se ha descrito, la investigación ha develado que la enseñanza tradicional de la física cuántica en la educación secundaria por sus limitaciones puede desencadenar errores y carencias conceptuales (Muñoz Burbano, 2020). Con respecto al análisis y problemas en la enseñanza, algunas investigaciones ponen en evidencia problemas relacionados con la enseñanza y el aprendizaje de conceptos fundamentales tales como: El efecto fotoeléctrico, el modelo de Bohr y los espectros atómicos, la ecuación de De Broglie y las relaciones de indeterminación (Niaz et al., 2010; Olsen, 2002; Domènech, Martínez y Savall, 2013).

Por otra parte, en Sinarcas y Solbes (2013) se presentan las dificultades de la enseñanza de la mecánica cuántica, relacionadas con la presentación de conceptos aislados y que en ocasiones son relacionados con el componente de Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS). De igual manera, es importante tener en cuenta que una de las principales dificultades en el aprendizaje no tiene que ver con el componente matemático, sino que se trata una dificultad de carácter ontológico y epistemológico, conclusión apoyada por investigaciones anteriores (Kalkanis, Hadzidaki y Stavrou, 2003; Solbes y Sinarcas, 2009). Esto se puede derivar de no reconocer que los objetos cuánticos son objetos con un comportamiento nuevo y no partículas con comportamiento ondulatorio u ondas con comportamiento corpuscular (Feynman, 1971; Lévy-Leblond, 2003).

De este modo, se reconoce la necesidad de asumir como punto de partida en el diseño de la secuencia de enseñanza aprendizaje tres demandas de aprendizaje, las cuales están vinculadas a igual número de problemas de enseñanza y aprendizaje de la EAM (Muñoz, 2018):

La primera, referida al hecho de que no se hace evidente la ruptura entre la física clásica y la teoría cuántica (Muñoz Burbano 2020): esta ruptura es, realmente, una demanda de aprendizaje por cuanto configura una revolución, no solo para la ciencia también para la manera de pensar y de entender las nuevas realidades. De ahí que, el mismo De Broglie al referirse a la TC haya señalado que su aparición en la ciencia produjo una revolución

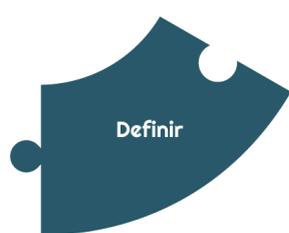
conceptual cuya importancia no se podía medir con exactitud, pero que, sobrepasando con mucho la realizada por la teoría de la relatividad, constituye uno de los cambios más importantes en la historia del pensamiento humano (Silva, 2011).

Por ello, en la secuencia de enseñanza aprendizaje diseñada, se abordan los fenómenos que evidenciarían la crisis de la física clásica. Lo cual, además ayudará a comprender mejor las teorías clásicas y demostrar sus límites de validez, así como sus diferencias con la TC (Sinarcas y Solbes, 2013).

La segunda, la cual expone que al enseñar no se hace una distinción entre modelos clásicos, semicuántico y cuántico. El análisis de libros de texto colombianos de grado 10 (décimo) para el área de química, en ninguno de los capítulos se hace una distinción entre los modelos atómicos clásico, semicuántico y cuántico (Muñoz-Burbano, 2020; Muñoz-Burbano, Solbes y Ramos-Zambrano, 2020). La importancia de esta demanda de aprendizaje radica en que abordar los modelos atómicos, no solo desde la perspectiva cronológica y acumulativa sino desde la TC permite asumir las construcciones teóricas, las limitaciones y los aportes de cada uno de los modelos atómicos clásicos, para llegar finalmente al modelo cuántico, pero en correspondencia a una construcción teórico-práctica.

La tercera, da cuenta del hecho de que el modelo cuántico no es abordado: en la educación secundaria no siempre se aborda el modelo cuántico, cuestión que genera carencias conceptuales (Muñoz-Burbano, 2020). Con respecto a esta demanda de aprendizaje, se desprende la necesidad de abordar conceptos fundamentales como es el caso de la dualidad de los objetos cuánticos y, por tanto, las relaciones de indeterminación de Heisenberg y los números cuánticos derivados de la ecuación de Schrödinger.

Es importante recalcar que, estas tres demandas de aprendizaje se contextualizan a través de la fase de contexto, esto para conocer a los estudiantes a los cuales va dirigida la secuencia de enseñanza aprendizaje. En este sentido, se aplicó un cuestionario (Pre-test), que permitió además configurar estas demandas (ver Tabla 1)



2.2.3 Definir

En este paso se tendrán en cuenta tanto las etapas anteriores donde se establece el contexto como las ideas previas de los estudiantes y los contenidos a desarrollar. Con base en ello, es necesario tomar decisiones de diseño para articular herramientas didácticas que consoliden la secuencia de enseñanza aprendizaje. En esta etapa, se definen los objetivos de la secuencia y la manera cómo se va a evaluar dicha secuencia.

En este orden de ideas, a partir de las cuestiones tratadas en la etapa previa y teniendo en cuenta los problemas establecidos en el primero de los pasos, se plantean los objetivos a alcanzar con la aplicación de la secuencia de enseñanza aprendizaje (ver Tabla 2). Cada uno de estos objetivos responden a uno de los problemas detectados al aplicar el pre-test en los estudiantes, además, se relacionan con los resultados de investigación en cuanto a la enseñanza de la estructura de la materia (Muñoz Burbano, 2020)

Tabla 1
Herramienta para discriminar conocimientos previos.

	<p>ENSEÑANZA DE LA ESTRUCTURA ATÓMICA DE LA MATERIA EN COLOMBIA VII COHORTE DOCTORADO CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN RUDECOLOMBIA UNIVERSIDAD DE NARIÑO</p>	
<p>Objetivo de la Investigación Fase I: la investigación tiene como propósito establecer cómo se enseña la temática de Estructura Atómica de la Materia en instituciones oficiales y privadas de educación secundaria, la participación es voluntaria y la información personal que Usted suministra en este cuestionario es confidencial.</p>		
<p>Información personal</p>		
<p>Nombre:</p>		
<p>Grado:</p>		
<p>1. ¿Cómo definiría una partícula?</p>		
<p>2. ¿Cómo definiría una onda?</p>		
<p>3. Enuncia cinco palabras que asocie con cuántica:</p>		
<p>4. ¿Conoce algunos hechos que se relacionen con la crisis de la física clásica?</p>		
<p>5. ¿Cómo definiría átomo?</p>		
<p>6. ¿Cómo definiría electrón?</p>		
<p>7. ¿Cómo definiría el fotón?</p>		
<p>8. ¿Cómo explica los niveles de energía en el átomo?</p>		
<p>9. ¿Cómo explica el principio de incertidumbre (relaciones de indeterminación) de Heisenberg?</p>		
<p>10. ¿Cómo definiría orbital atómico?</p>		
<p>11. ¿Qué relación hay entre números cuánticos y sistema periódico?</p>		
<p>12. Dibuja un átomo</p>		

Tabla 2
Objetivos de la secuencia de enseñanza aprendizaje.

	Objetivo	Problema de enseñanza - aprendizaje
1	Reconocer las propiedades de los fenómenos corpusculares y ondulatorios.	No se conocen las propiedades de las partículas y las ondas, ni se establecen diferencias.

2	Analizar los aportes del atomismo de Demócrito a la comprensión de la naturaleza discontinua de la materia.	No se trabaja la naturaleza discontinua de la materia, ni se da importancia a los trabajos de Demócrito.
3	Analizar los orígenes de la teoría atómica y cómo esta se convierte en una ruptura en la manera de entender la materia.	La teoría de Dalton es presentada como una retoma de los planteamientos de Demócrito, la ciencia se presenta acumulativa.
4	Relacionar el descubrimiento del electrón con la divisibilidad del átomo y con situaciones CTS.	Se confunde electrón con átomo. Se asocia al electrón carga positiva.
5	Analizar los aportes del experimento de la lámina de oro a la estructura del átomo y al desarrollo sociocientífico.	No se asocia situaciones sociocientíficas con el conocimiento de la estructura de la materia. No se reconoce como un hecho que pondrá de manifiesto la crisis de la física clásica.
6	Comprender que la física clásica no puede explicar algunas experiencias y relacionarlo con situaciones sociocientíficas.	No se hace una ruptura entre la física clásica y la TC.
7	Reconocer los aportes del modelo atómico de Bohr y sus limitaciones.	Se traslada el concepto de órbita al concepto de orbital. La analogía del átomo con el sistema solar prevalece.
8	Comprender que los electrones y fotones no son ni se comportan como ondas ni partículas clásicas, sino como objetos con un nuevo comportamiento.	Los docentes evidencian confusión en la enseñanza del concepto. Los estudiantes no lo relacionan con la estructura del átomo.
9	Comprender las relaciones de indeterminación y sus implicaciones en el modelo atómico.	Los docentes evidencian confusión en la enseñanza del concepto. Los estudiantes no lo relacionan con la estructura del átomo.
10	Explicar que el átomo se describe desde la resolución de la ecuación de onda.	Nivel y orbital se describen de forma análoga a las órbitas de Bohr. El átomo se entiende como un sistema planetario en miniatura.

Para alcanzar los objetivos propuestos en la Tabla 2 se asumió como premisas fundamentales en el proceso de diseño de la secuencia de enseñanza aprendizaje las siguientes:

- La historia de las ciencias es un elemento dinamizador de la enseñanza de la TC (Sinarcas y Solbes, 2013).
- El uso de prácticas experimentales sencillas, como herramientas didácticas que permiten la enseñanza de la TC en el contexto de la Estructura de la Materia (Savall, Doménech, Martínez, 2013; Rozo, Walteros y Cortes, 2019).
- El uso didáctico de cuestiones sociocientíficas en la enseñanza de la TC (Prieto, España y Martín, 2012).
- El trabajo en equipo, donde se busca fortalecer el diálogo, la argumentación, la toma de decisiones, la construcción y desarrollo de tareas sencillas en conjunto, que desde las ideas previas de los estudiantes, buscan la construcción del conocimiento en un ambiente dialógico, tomando como referencia la noción constructivista planteada por Coll (1991): el alumno como responsable de su proceso de aprendizaje y cuya actividad constructora, se aplica a un conocimiento con un grado de elaboración social (Muñoz Burbano, 2020).

Todo lo anterior, permite articular las rutas para la enseñanza de la TC en la educación secundaria, que pueden tener dos enfoques uno direccionado desde son la historia de las ciencias y un segundo enfoque que podría denominarse ruta empírica (a partir de la difracción de electrones) (Sinarcas y Solbes, 2013)



2.2.4 Diseñar o concebir

Una vez se llega a este paso es necesario tomar decisiones que permitan articular el conocimiento y contenidos con las actividades para la enseñanza. Por tanto, este paso permite esbozar los materiales a implementar y establecer las decisiones expuestas en la tabla 3.

Si bien, las actividades descritas corresponden al proceso de diseño no necesariamente están pre-establecidas, pues deberán adaptarse a las particularidades de los grupos con que se desarrollen, puesto que son particularmente diferentes y por lo que el docente deberá conectar los procesos de construcción del conocimiento del estudiante con el saber colectivamente organizado (Coll, 1991). Desde esta perspectiva y partiendo de los estándares básicos de competencia proferidos por el MEN, se asumió que la secuencia de enseñanza aprendizaje aborde tres tópicos, a saber: divisibilidad de lo indivisible, más que una crisis y una nueva ciencia, un nuevo átomo. En la tabla 4 se reseñan las temáticas que se abordan en cada tópico y el número de sesiones consideradas para su implementación y la imagen 13 es una sencilla representación o estructura conceptual que permite referir algunas relaciones conceptuales importantes.

Tabla 3

Actividades consideradas en la secuencia de enseñanza aprendizaje (Muñoz Burbano, 2020).

Actividades	Orientaciones
Uso de videos que apoyan de manera significativa el proceso de aprendizaje (Moreno y Guarín, 2010)	<p>zappeador, (2015), Max Plank y la teoría cuántica. https://www.youtube.com/watch?v=bm7FSHokRIA (Este video se debe proyectar hasta el minuto 5.18. Por cuanto, los conceptos que se trabajan a partir de este intervalo de tiempo mezclan nociones clásicas, pre-cuánticas con nociones cuánticas). Balladares Loaisiga,(2011) https://youtu.be/C2HX3lFqCwc o https://youtu.be/0Wp2ahy8dk4</p>
Desarrollo de prácticas experimentales sencillas (Lozano y Solbes, 2014; Sinarcas y Solbes, 2013; Savall et al., 2014 y Roza Clavijo, Walteros y Cortes, 2019).	<ul style="list-style-type: none"> • Trabajo con muelle de plástico o metal (slinky) para la explicación de ondas longitudinales, transversales, estacionarias. • Difracción con disco compacto. • Interferencia con cubeta de ondas. • Espectroscopio casero.
Uso del material como guía de las actividades para cada sesión. Con escenarios para la discusión y socialización del trabajo que permitan el avance en la construcción de nuevos significados (Malagón, 2009).	
Discusión en equipos de trabajo.	

Tabla 4

Actividades discriminadas por corredor conceptual.

Sección	Temática	Sesión
La divisibilidad de los indivisible	Fenómenos corpusculares y ondulatorios	1
	El atomismo filosófico	2
	La teoría atómica de Dalton	3
	Electrón	4
	La radioactividad	5
Más que una crisis	Luz y Electrón	6
	Modelo precuántico	7

Una nueva ciencia, un nuevo átomo	Dualidad de los objetos cuánticos	8
	Relaciones de indeterminación	9
	Modelo Cuántico	10

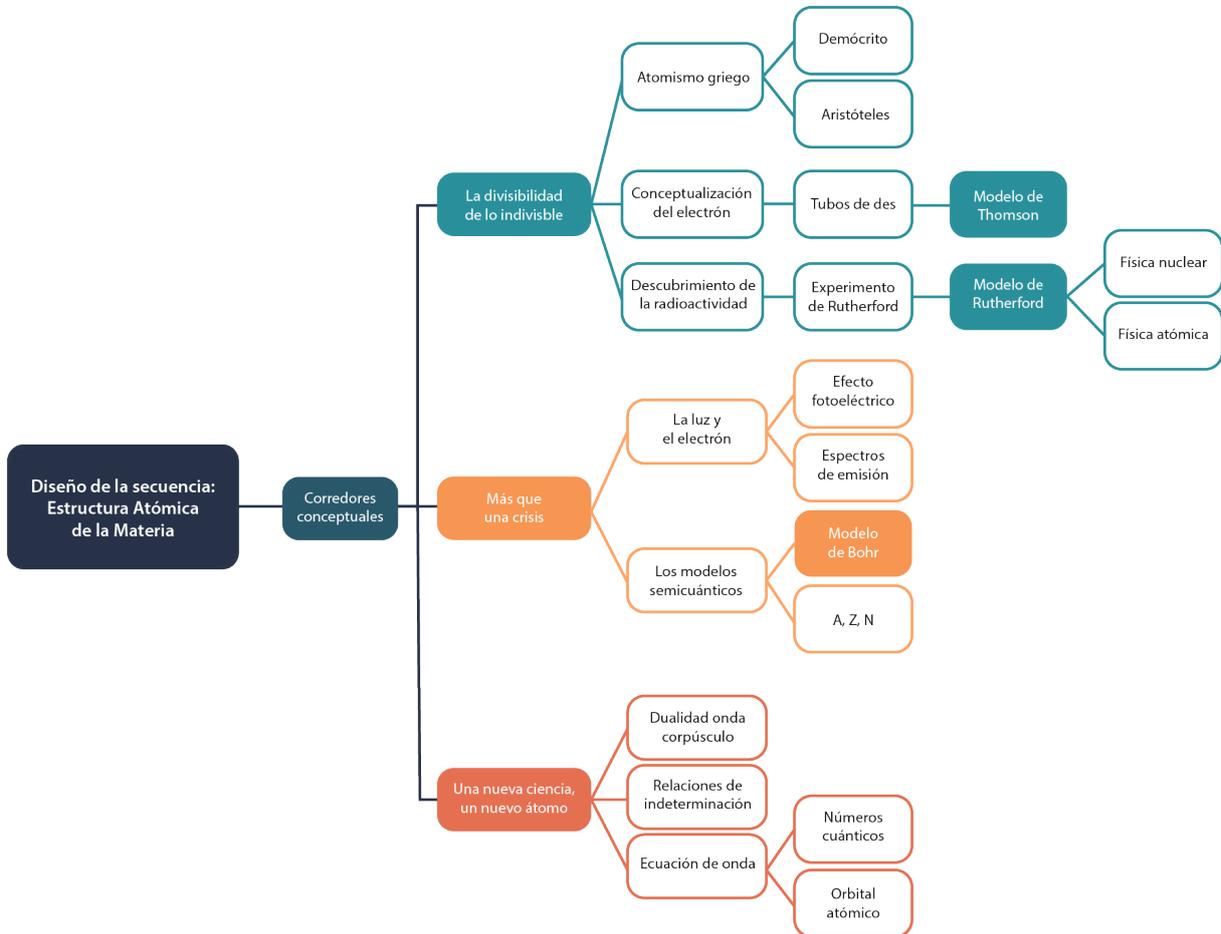


Imagen 13 Representación de las temáticas desarrolladas en la Secuencia.

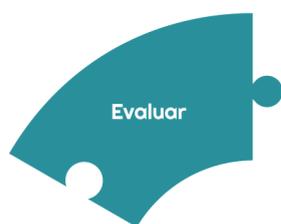


2.2.5 Implementar

Es la fase de validación de la secuencia de enseñanza aprendizaje, es decir, corresponde al desarrollo en aula de la secuencia de enseñanza propuesta, en este caso, en dos instituciones de la ciudad de Pasto, tal cual como se reseñó en apartados anteriores.

Ahora bien, la implementación de la secuencia de enseñanza aprendizaje se realizó con 200 estudiantes de grado 10 (décimo). Así las cosas, este proceso aportó elementos para comprender la dinámica que implica su implementación, asimismo, ayudó con la discriminación de oportunidades de mejora en el diseño realizado, es decir, la posibilidad de introducir ajustes finales en el diseño realizado. Puntualmente, en cuanto al primer aspecto, la

implementación permitió reconocer la naturaleza dinámica y abierta de la propuesta, pues se desarrolló en ambientes diversos, con diferencias en los recursos institucionales con los que se contó y las características de las poblaciones de estudiantes.



2.2.6 Evaluar

El último paso corresponde a la evaluación que contribuye con la validación de la secuencia, el cual considera dos dimensiones: valoración de la calidad de la secuencia y valoración del aprendizaje logrado (Nieveen, 2009). La valoración o análisis de la secuencia de enseñanza permite evidenciar las dificultades de implementación. Es decir que con base en los resultados obtenidos se puede determinar aspectos problemáticos de la secuencia en relación con la claridad en las actividades planteadas para ser ejecutadas por los estudiantes; otro aspecto que se somete a evaluación corresponde a la pertinencia o no del tiempo establecido para la ejecución y nuevos contenidos. La segunda etapa del proceso de evaluación se enfoca en analizar la comprensión de los conceptos, teorías y modelos y la adquisición habilidades propias de la teoría científica.

Teniendo en cuenta lo anterior, el análisis de la calidad de la secuencia de enseñanza aprendizaje fue realizado mediante entrevistas aplicadas a los docentes que acompañaron el proceso -observadores-. En relación con el análisis del aprendizaje de los estudiantes, se aplicó un post-test que permitió conocer si la aplicación de la secuencia de enseñanza aprendizaje generó cambios en los resultados obtenidos en el pre-test, así como una comparación con los resultados obtenidos en el grupo control (Muñoz Burbano, 2020)

De igual forma, en la validación o desarrollo de la secuencia por parte de los autores de este documento, se encontró que entre el pre-test y post-test se logró una diferencia significativa en conceptos como onda, partícula, fotón, electrón, hechos que marcaron la física clásica, incluso en las relaciones de indeterminación entendidas como tal y no como principio de incertidumbre.

Al respecto, es importante destacar que los estudiantes demostraron mayor comprensión en dichas temáticas, lo anterior, evidenciable en el trabajo desarrollado a lo largo de la aplicación o desarrollo de la secuencia, es decir en el trabajo de aula, en el desarrollo de las actividades propuestas, en la construcción de explicaciones individual y en equipo, solución de ejercicios.

Capítulo 3:

Secuencia de enseñanza aprendizaje



Capítulo 3

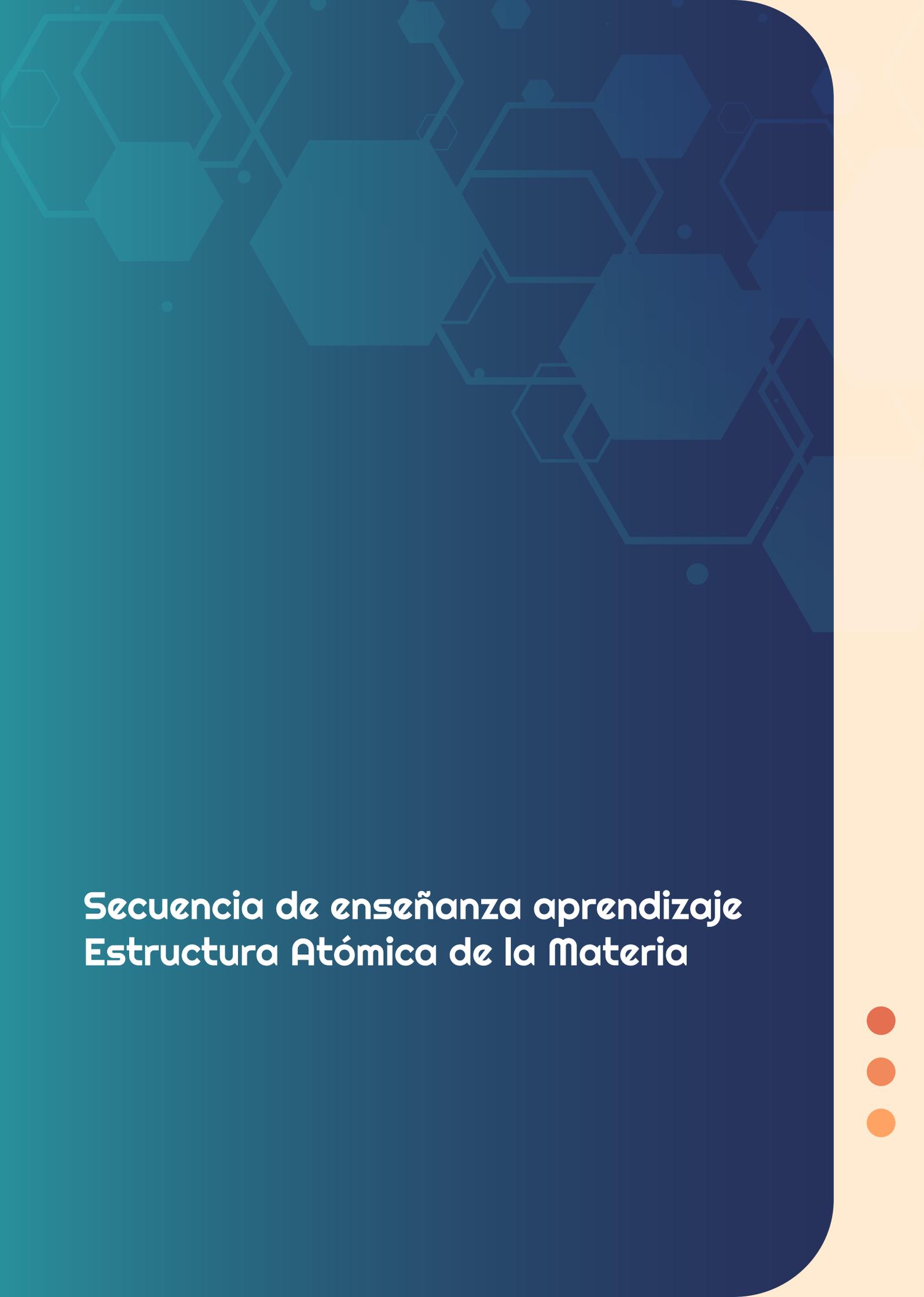
Secuencia de Enseñanza Aprendizaje

El objetivo de esta secuencia de enseñanza aprendizaje es aportar un conglomerado de estrategias para suscitar la enseñanza de la Estructura de la Materia a partir de elementos conceptuales vinculados a la Teoría Cuántica. Las actividades que conforman la secuencia de enseñanza aprendizaje fueron planteadas a través de consignas sencillas y de fácil desarrollo. Están contextualizadas con aportes teóricos necesarios para el desarrollo de la temática, en ocasiones, se incluyeron elementos de la Historia de las Ciencias.

Todo esto para que los estudiantes se sientan motivados en el desarrollo de la secuencia y promover el trabajo dinámico y propositivo en el aula. Se trata, pues, de una propuesta flexible y dinámica donde los docentes podrán realizar ajustes según sus necesidades, recursos y contextos.

De igual manera, la secuencia de enseñanza aprendizaje es un elemento de base útil para la planeación y organización de las clases, pues, se ha pensado teniendo en cuenta el tiempo que normalmente se determina para el desarrollo de esta unidad temática sea en el grado noveno sea en el grado décimo de educación secundaria.

La Secuencia de enseñanza aprendizaje (Muñoz Burbano, 2020) propone dos elementos introductorios para guiar su aplicación: guía para el estudiante (carta al estudiante) y el docente (carta para el docente). En ambos se contextualiza tanto al estudiante como al docente en cuanto a cómo diligenciar la guía.



Secuencia de enseñanza aprendizaje Estructura Atómica de la Materia



Carta al Alumno

Antes de adentrarnos en el maravilloso mundo subatómico, quiero presentarte a Demo, es un personaje que nos acompañará en esta aventura, lo hará desde cuatro escenarios distintos:



Demo propone:

En el que te planteará actividades para ser realizadas con tus compañeros en equipos de trabajo o de manera individual.



Demo pregunta:

Como puedes imaginar, lanzará preguntas que deberás contestar con tus compañeros y construir en conjunto una respuesta para ser discutida en clase, siguiendo las observaciones de tu profesor.



Demo reflexiona:

Como sabes, Demo es un filósofo de la antigüedad, de tal manera que siempre estará pensando en aquello que vamos aprendiendo, no te sorprendas si se presenta un tanto sarcástico, él es muy incisivo.



Demo insiste:

Habrán muchas cosas que este personaje querrá que recuerdes, así que presta mucha atención a sus observaciones.



Todo cuanto construyas es parte de tu proceso, no temas preguntar, estamos juntos para aprender, si en casa tienen un poco de tiempo para revisar alguna información que te quedó pendiente o quizá no muy clara, hazlo, los grandes científicos que aquí conocerás, no obtuvieron reconocimiento gracias a la buena suerte o quizá por una inteligencia fuera de serie, fue su forma de trabajar.

La idea es que, junto con este material, lleves un cuaderno o libreta para registrar todas las actividades o anotaciones, sabes que los hombres de ciencia todo lo registran no solo para no olvidarlo, sino que será evidencia de su trabajo.

Carta al Docente

El documento que se presenta a continuación constituye un apoyo en el desarrollo de la Unidad de Estructura Atómica de la Materia (EAM). En él, se articula la investigación didáctica referente a la enseñanza de la estructura de la materia, la teoría cuántica, así como los resultados del análisis de libros de texto de química en lo referido a la unidad didáctica de EAM y el análisis de los resultados del cuestionario aplicado a docentes en ejercicio en torno a la enseñanza de la EAM, productos de la investigación doctoral: Enseñanza de la Estructura Atómica de la Materia en Colombia (Muñoz-Burbano, 2020).

La secuencia se diseña desde del socioconstructivismo como paradigma pedagógico de elaboración de conocimientos (Jonnaert, 2001), asumiendo que el conocimiento se construye desde la interacción social del estudiante, de ahí que se promuevan situaciones de aprendizaje en el que ellos interactúen entre sí para la construcción de respuestas, argumentación y defensa de su posición frente a situaciones sociocientíficas, para ello, se utiliza a Demo, personaje que guía al estudiante en estas construcciones.

Desde la dinámica planteada por Demo, o de las actividades propuestas, se busca que el estudiante aporte desde su conocimiento e ideas previas, asimismo, se propone una construcción reflexiva del conocimiento, en el que la interacción, la contextualización, el desarrollo de prácticas experimentales sencillas sean pretextos para que el estudiante sea activo en este proceso.

De esta manera, la historia de las ciencias, se constituye en un recurso didáctico fundamental y ampliamente sustentado en la investigación didáctica en general y de esta temática en particular (Solbes y Sinarcas, 2009; Solbes, Sinarcas, 2010; Solbes, Silvestre y Furió, 2010; Sinarcas y Solbes, 2013; Solbes, 2013; Savall, Domenech y Martínez 2013), de tal manera que en el desarrollo tanto del material didáctico que se presenta, como en la ampliación que se hace del mismo en la explicitación del docente, se vincula la historia de las ciencias para contextualizar al estudiante y permitirle asumir una dinámica de construcción del conocimiento científico no lineal, ni acumulativa. La creación de un correo electrónico al que los estudiantes escriben mensajes a los científicos que se trabajan en la secuencia, es otra manera del trabajo desde la historia de las ciencias. Por último, la personificación que se hará con la participación de los estudiantes es otra manera de trabajar desde esta perspectiva didáctica.

También, se vinculan recursos didácticos mediados por las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) tales como videos o simulaciones, en cuyo caso, se deja el enlace. Estos recursos, vinculan al estudiante desde sus intereses y perspectivas.

Este material y su aplicación estará siempre en construcción y será necesaria su contextualización, dependiendo de las características de los grupos de alumnos y las instituciones en las que se desarrolle, es una propuesta abierta.

A continuación, se expone la secuencia de enseñanza como una guía de trabajo tanto para docentes como para estudiantes. No se fracciona por sesiones de trabajo con el fin de que cada docente la puede contextualizar a sus necesidades y objetivos de enseñanza. Se divide en cuatro momentos: en un primero, la atención focaliza en la introducción a la temática, en este se abordan los conceptos de onda y partícula por la necesidad de que los estudiantes reconozcan las propiedades de los fenómenos ondulatorio y corpusculares, antes de entrar a la temática como tal.

Una vez desarrollada la introducción, se plantea el segundo momento, denominado “la divisibilidad de lo indivisible”, en este se aborda el aporte realizado desde la Grecia antigua, se trabajan los debates filosóficos que se presentaron para establecer la noción de discontinuidad de la materia, específicamente el trabajo de Demócrito y el papel de Aristóteles en la manera como se asumió el concepto de elemento. De manera sucinta, se contrasta con los trabajos realizados por Boyle y Lavoisier, en la construcción moderna del concepto de elemento, en contraposición a los planteamientos aristotélicos. Con el uso de la historia de la ciencia se llega a los trabajos de J.J. Thomson, para deducir la divisibilidad del átomo.

Posteriormente, el tercer momento, denominado “Más que una crisis” aborda los hechos, que ponen de manifiesto la crisis de la física clásica, desde la inestabilidad del modelo de Rutherford, los espectros atómicos, el efecto fotoeléctrico, hasta el modelo de Niels Bohr. Este apartado tiene como objetivo hacer evidente la crisis de la ciencia clásica frente a la explicación de fenómenos, enfatizando que dicha crisis implica un quiebre epistemológico que exige asumir explicaciones que pueden ser contra intuitivas. En este capítulo, de igual manera, se plantean experiencias sencillas que constituyen puntos de partida para las temáticas a desarrollar.

Finalmente, el cuarto momento, “una nueva ciencia, un nuevo átomo” parte de las dificultades de la física clásica para explicar algunos fenómenos y llegar a abordar las propiedades de los objetos cuánticos, las relaciones de indeterminación y la ecuación de onda o de estado. Es esencial que, el estudiante pueda asumir la existencia de objetos cuánticos, con un comportamiento diferente al clásico (Feynman, 1971; Balibar y Lévy-Leblond, 1984), de ahí que, en el capítulo de introducción, se trabajó fenómenos ondulatorios y corpusculares clásicos. En este apartado, se aborda también la explicación de las relaciones de indeterminación, así como los conceptos de cuantización de la energía y orbital atómico y su correspondencia con la distribución electrónica y el ordenamiento en la tabla periódica. Es necesario retomar y enfatizar el quiebre entre la física clásica y la TC, referir los desarrollos científicos y tecnológicos que posibilitó la TC, así como las cuestiones sociocientíficas que le subyacen al desarrollo de esta teoría, de ahí que se planteen actividades de discusión en equipos de trabajo.

Es importante destacar que, para el desarrollo de las experiencias propuestas en cada apartado, se propone el uso de elementos sencillos y de fácil consecución, ejemplo: para trabajar ondas, un muelle plástico o cubeta de ondas que se construye muy fácilmente (una vasija de vidrio sobre un retroproyector, e incluso la linterna de un dispositivo celular). Los estudiantes pueden hacer videos con sus celulares en cámara lenta y apreciar detenidamente las propiedades que están trabajando, esto los motiva e involucra en el trabajo.

3.1. Primer Momento de la Secuencia de Enseñanza Aprendizaje Fenómenos Corpusculares y Ondulatorios

Bienvenidos, el trabajo que vamos a desarrollar a continuación nos permitirá introducirnos en el mundo clásico de las ondas y las partículas, muchos hechos cotidianos están relacionados con estos fenómenos, seguro que te sentirás identificado con ellos.

Comentarios para el profesor: esta primera parte del trabajo se desarrolla con los estudiantes a nivel de introducción, se busca la caracterización de los fenómenos corpusculares y los fenómenos ondulatorios, preparando al estudiante para el momento en que asuma la singularidad de los objetos cuánticos. En algunos casos puede ser necesario clarificar el concepto de onda, porque no ha sido trabajado previamente por los estudiantes.

Tradicionalmente todo cuánto existe se ha clasificado en dos grandes grupos: partículas y ondas. Las partículas tienen propiedades específicas tales como masa, peso, volumen; puedo medir la velocidad, determinar su trayectoria mediante la aplicación de fórmulas sencillas. Una partícula puede semejar a una bola de billar, un balón entre otros. Incluso el juego de billar nos puede ser muy útil ¿Has jugado alguna vez billar? A este juego se le ha denominado el juego ciencia ¿Sabes por qué? Ya que juegues profesionalmente o solo para divertirte con tus amigos, son muchos los principios físicos que influyen en el control de las bolas en las distintas modalidades de billar.





- ¿Por qué crees que se denominó juego ciencia?
- Describe qué aspectos te llaman más la atención de este juego.
- Define trayectoria.
- Define velocidad.
- Define posición.



Comentarios para el profesor: el billar se ha denominado tradicionalmente como un juego ciencia porque en el vemos cumplirse el principio de conservación de la cantidad de movimiento, que hace que cuando una bola choque con la pared, salga despedida cumpliendo la ley de reflexión...

El otro gran grupo es el de las ondas, ¿sabes lo que es una onda y qué propiedades tiene? ¿Podrías enunciar algunos ejemplos de fenómenos relacionados con las ondas?



Con tu equipo de trabajo realiza las siguientes experiencias:

- Con un muelle produce una onda, ¿qué observas? ¿Qué características puedes describir?
- Observa y describe en tu cuaderno la experiencia en la cubeta de ondas
- Haz pasar un láser por una tela tenue o un CD sin máscara ¿Qué observas?

Comentarios para el profesor: la primera pregunta permite que los estudiantes verbalicen sus ideas previas. Para comenzar esta parte del trabajo, lo ideal sería desarrollar las experiencias en un laboratorio, en el cual los estudiantes dispongan del espacio y recurso para las actividades, de no ser así, el salón de clase puede disponerse con sencillos materiales que permitan desarrollar el trabajo. En un slinky podemos producir ondas transversales y longitudinales, estacionarias transversales con diferentes nodos según la frecuencia de vibración de la mano y la reflexión de estas. Al caer una gota producimos ondas superficiales en los líquidos y al caer dos en lugares opuestos vemos cómo se produce una interferencia. Cuando el láser atraviesa una tela tenue o un CD se difracta (Lozano y Solbes, 2014). Con este tipo de experiencias los estudiantes además de evidenciar los fenómenos se comprometen con su proceso.

Completa el siguiente cuadro:

Definición del fenómeno	Experiencia realizada	Ejemplo en la vida diaria
La reflexión es el cambio de dirección de una onda, que, al entrar en contacto directo con la superficie de división entre dos medios cambiantes, regresa a su punto de origen		
La interferencia es el fenómeno en el que dos o más ondas se superponen para formar una onda de mayor, menor o igual amplitud.		
La difracción es un fenómeno característico de las ondas al atravesar un obstáculo o una rendija.		

Comentarios para el profesor: a los estudiantes se les puede pedir que en su cuaderno registren los datos que se obtienen de las experiencias. Es un buen pretexto para comentar con los estudiantes sobre la importancia de registrar las observaciones y la construcción de informes de las prácticas experimentales, tal como sucede en el trabajo que desarrollan los científicos. Los elementos en los que los estudiantes realizan sus anotaciones son recursos para la recolección de información que permite analizar el desarrollo del proceso de aprendizaje.

Autoevaluación

Al finalizar el capítulo, es importante detenernos a pensar en el trabajo que hicimos, para ello te invito a desarrollar una autoevaluación muy sencilla:

Elementos de evaluación	Plenamente	Parcialmente	No lo hice
Desarrollé las actividades propuestas			
Participé de las actividades en grupo			
Leí el desarrollo de la temática			

3.2 Segundo Momento de la Secuencia de Enseñanza Aprendizaje: la Divisibilidad de lo Indivisible

Ahora se trata de otros aspectos muy interesantes, el trabajo que vamos a desarrollar a continuación nos permitirá introducirnos en el maravilloso mundo del átomo, el cual está lleno de emociones y secretos que seguramente estarás interesado en conocer. ¡Vamos a trabajar!



¿Qué es la materia?

Esta pregunta que parece tan sencilla fue la razón de mi filosofía.

Comentarios para el profesor: esta primera parte, vincula las explicaciones filosóficas e incluso especulativas que se dio en la antigüedad para la noción de materia, es necesario hacer énfasis a que se trata de explicaciones filosóficas pero que tuvieron una influencia importante en el pensamiento científico a través de la historia. Uno de los aspectos que se destaca, es el pensamiento de Demócrito (Armstrong, 1996), no solo en la constitución del atomismo como tal, sino en cómo sus ideas se constituyen en una disrupción en el pensamiento griego (Gadamer, 2001). Esta introducción tiene una importancia epistemológica, en el sentido de evidenciar como se construyó un pensamiento determinista y con regularidades que ordenan el cosmos, lo que se reflejó en la búsqueda del arké o principio constitutivo de todas las cosas (Silva, 2011).

Enumera al menos 10 ejemplos de materia y p 5 ejemplos de algo que no sea materia.

Comentarios para el profesor: esta pregunta, busca conocer las ideas previas de los estudiantes, especialmente, aquellas referidas a lo que no es materia, permitiendo determinar algunos errores tales como: que el aire no es materia, o que la luz no es materia, porque no se ajusta a la definición de que “materia es todo cuanto existe y ocupa un lugar en el espacio”, definición usualmente utilizada por los estudiantes.

¿Qué es la materia? Ha sido una pregunta que a lo largo de la historia ha aceptado muchas respuestas. Entre los muchos pueblos que se ocuparon de esta pregunta están los griegos, claro, no solo esta pregunta los inquietó, también intentaron comprender la naturaleza de la luz y de la electricidad.

En el siglo V a.C. los griegos sugirieron que la materia está compuesta de partículas elementales indivisibles. Bueno, la verdad esta no fue la conclusión del pensamiento griego, más bien fue Demócrito (460-370 a.C.) un tanto en solitario, -en quien nos inspiramos para crear a nuestro amigo Demo-, quien introduce la idea de los átomos y la existencia del vacío entre ellos. Además, sugiere que son pequeñas masas de materia, que se encuentran en una cantidad infinita en el universo, los definió como la partícula última, indivisible e invisible, “el ladrillo con el que se hace la naturaleza”.

Las ideas de Demócrito eran diferentes a las que se habían planteado con anterioridad en la concepción griega del universo, pues afirma que los átomos se mueven y es la interacción

entre ellos lo que da origen a los cuerpos infinitos del universo. Pero no creas que para Demócrito las cosas fueron fáciles, a pesar de sus planteamientos futuristas, para Aristóteles las ideas locas de Demócrito no explicaban la variedad de sustancias existentes, y como Aristóteles sólo aceptaba las fuerzas por contacto y no a distancia, con el vacío no se podía justificar el movimiento.



“

El movimiento es una condición fundamental de las partículas que conforman la materia (Demócrito)

”

Comentarios para el profesor: en los apartados en que Demo insiste, se resalta conceptos o afirmaciones importantes para el estudiante, como en este caso, la idea de movimiento de Demócrito.



¡Interesante!

Las cosas no son fáciles para los grandes pensadores de la humanidad... condiciones políticas y culturales impulsaron un cambio en la investigación filosófica griega, no solo yo dediqué tiempo a pensar en la materia. El universo entero y su composición era una tarea de muchos filósofos como Tales de Mileto, Anaximandro, Parménides, Platón, Aristóteles quienes plantearon explicaciones muy interesantes a este gran interrogante

¿Qué ideas de las planteadas por Demócrito consideras más importantes y por qué?

Comentarios para el profesor: este tipo de espacios de la guía, tienen como objetivo la construcción colectiva frente a hechos, circunstancias, conceptos o fenómenos en los que el estudiante se relaciona con la dinámica de construcción del conocimiento científico. Aunque esta parte es importante, por el tiempo, se debe abordar de manera rápida.

Por otra parte, Aristóteles (384-322 a.C.) iniciaría de manera sistemática los estudios de física, asimismo, sería defensor del geocentrismo, explicaba que la materia estaría constituida por cinco elementos, los cuatro tradicionales de la filosofía griega: tierra, agua, aire y fuego y el quinto elemento que sería el éter que formaba la materia de los cuerpos celestiales. Debido a la su "autoridad intelectual" sus ideas prevalecieron prácticamente durante toda la edad media, hasta la revolución científica de Copérnico, Galileo y otros.

Según la física de Epicuro, toda la realidad está formada por dos elementos fundamentales, de un lado, los átomos, que tienen forma, extensión y peso, y de otro, el vacío, que no es sino el espacio en el cual se mueven esos átomos. Las diversas cosas que hay en el mundo son fruto de las distintas combinaciones de átomos. La idea de Demócrito y de Epicuro no se consolidó.



¿Qué podemos concluir de los trabajos realizados en la antigüedad?



Este sencillo esquema podría ayudarnos a comparar las ideas de estas dos corrientes filosóficas.

Atomismo	Aristóteles

Comentarios para el profesor: el objetivo de pedir al estudiante una conclusión de los trabajos realizados en la antigüedad, es deducir la naturaleza de dichos trabajos como parte del saber filosófico de esa época y no como trabajos propiamente experimentales.

No siempre se trabajan los aportes de Robert Boyle, e incluso de Lavoisier con respecto a la construcción de la noción moderna de átomo, la historia de las ciencias da herramientas que permiten comprender que de Demócrito a Dalton no se realizó un salto, sino que la comunidad científica venía trabajando al respecto y estas contribuciones allanaron el camino.

Claro está, esto no significa que desde que Aristóteles diera su explicación a la composición de la materia, nadie más seguiría buscando respuestas, pero hay que reducir mucho nuestra presentación. Las ideas de Aristóteles comenzarían a sufrir grandes impactos. Por ejemplo, con la idea del quinto elemento de Aristóteles, el éter implicaba la perfección de los cuerpos celestes, y Galileo Galilei (1564-1642) con su telescopio, pudo observar la Luna y descubrir una superficie lunar llena de cráteres, valles y montañas que estaba lejos de la Luna de superficie lisa y perfecta descrita por los aristotélicos.

Por otra parte, Robert Boyle (1627-1691), vivió en plena época denominada alquimia, pero su pensamiento era totalmente distinto al de los alquimistas de sus días, en lugar de limitarse a aceptar las hipótesis tradicionales, prefería realizar experimentos controlados para establecer los hechos y más importante que eso, publicaba y daba a conocer sus hallazgos. Los experimentos de Boyle respaldaban el concepto de que la materia estaba compuesta de lo que él denominaba corpúsculos —algún tipo de partículas— que se combinaban de diversas maneras para formar distintas sustancias.



¿Qué sabes sobre la alquimia?



Uno de los principios más importante en el campo de la química es sin duda, el principio de conservación de la masa o ley de Lavoisier, y no por su complejidad, ya que realmente es muy sencillo, sino porque su establecimiento a finales del siglo XVIII marcó el nacimiento de la química moderna y el decaimiento de su predecesora (la alquimia), por ello a su autor, el francés Antoine-Laurent Lavoisier (1743-1794) se le conoce como el padre de la química moderna, además, amplió el número de elementos clasificándolos en metales y no metales, comenzando así a forjarse la idea de clasificar y ordenar los elementos.



Enumera elementos metálicos y no metálicos, determinando qué propiedades tiene cada grupo



Desde la Escuela Filosófica de Aristóteles hasta el último tercio del siglo XVIII, el agua se consideraba un cuerpo simple o "elemento". En unión del aire, la tierra y el fuego, el agua constituía el conjunto de los cuatro elementos de los que se creía formado el mundo conocido. Lavoisier confirmó que el agua no era un elemento y que estaba compuesta por dos elementos: hidrógeno y oxígeno.



¿Cómo contradice el hallazgo de Lavoisier la teoría aristotélica?



Después de muchos siglos donde imperó la idea de que todo estaba compuesto por tierra, agua, aire, fuego y sus interacciones, los hechos que hemos descrito ponían de manifiesto que esta idea se basaba en la especulación filosófica y no era verdad.



Uff, especulación filosófica, dura la expresión

¿Consideras que se puede utilizar?

John Dalton (1766-1844), un sencillo maestro inglés, investigó las consecuencias de la obra de Lavoisier. Si bien, se atribuye a Dalton el "resucitar" la palabra átomo para referirse a las minúsculas partículas invisibles que constituyen la materia, no es apropiado entenderlo

así. Había una diferencia, para Demócrito los átomos de sustancias diferentes tenían diferentes formas, para Dalton la diferencia estaba en el peso. En principio, las explicaciones con respecto a la materia se alojaban ya sea en la filosofía o en la física, pero, las primeras pruebas experimentales de la existencia de los átomos vinieron de la química con Dalton (Lederman, y Teresi, 1996).

Comentarios para el profesor: es necesario, hacer énfasis en la diferencia de la idea de Demócrito sobre el átomo -que la define como una entidad filosófica- y la idea de átomo para el atomismo moderno. Dalton no hace una retoma de conceptos de Demócrito, por tanto, no se puede ignorar el sistema conceptual en el que se construyen estos conceptos (Cano, 2009)



¿Qué impacto puede tener la teoría atómica en la química como disciplina científica?

Dalton observó que las propiedades de los gases se podían explicar mejor partiendo de la existencia de los átomos, además, consideró pertinente aplicar este postulado a las reacciones químicas. Es un poco, adoptar un concepto para comprender una situación experimental. Nuestro sencillo profesor de química había concluido que un compuesto químico siempre contiene los mismos pesos de sus elementos constituyentes, por ejemplo, el carbono y el oxígeno se combinan y forman monóxido de carbono (CO). Para producir 28g de CO, siempre se necesitan 12g de carbono y 16 g de oxígeno.



¿Para producir 56g de CO, cuántos g de C y O necesitaremos? ¿Cuál puede ser la explicación?

Ahora nos pondremos la tarea de comprobar o refutar (¿por qué no?), la teoría atómica de Dalton.

¿Por qué considerar importante comprobar o refutar las ideas de los científicos?

Comentarios para el profesor: se trata de introducir la ley de proporciones constante, que se puede explicar a partir de la teoría atómica: si un átomo de carbono pesa 12 unidades de masa atómica y un átomo de oxígeno pesa 16 unidades de masa atómica, los pesos macroscópicos del carbono y del oxígeno que desaparecen para generar el CO tendrán siempre la misma

proporción. Es importante hacer referencia a que en principio se habló de unidades de masa atómica y luego se establece el concepto de mol como un valor igual al valor numérico del peso atómico o molecular según corresponda y que un mol contiene siempre el mismo número de átomos o moléculas, que equivale al número de Avogadro ($6,022 \times 10^{23}$ átomos o moléculas), lo anterior, para evitar la confusión de que un átomo de sodio, por ejemplo, pesa 23 g o que una molécula de agua pesa 18 g.



Pero acaso Dalton simplemente desempolvó mis ideas, y ups

¿Por arte de magia las incorporó para formar una nueva teoría?

Entre 1803 y 1808 John Dalton formuló de modo más preciso una teoría atómica. Las hipótesis en las que se basa la teoría de Dalton pueden resumirse en tres puntos:

- Los elementos están formados por partículas muy pequeñas e indivisibles llamadas átomos. Los átomos de un elemento son idénticos (igual masa y propiedades químicas) pero diferentes a los átomos de otros elementos.
- Los compuestos se forman por unión de átomos de dos o más elementos. La relación entre el número de átomos presentes en un compuesto siempre es un número entero o una fracción sencilla.
- En las reacciones químicas se produce separación, combinación o reagrupamiento de los átomos, nunca creación o destrucción de estos.



“

Notas cómo sus planteamientos nacen de su trabajo con los gases y sus reacciones químicas

”

Antes de continuar con el átomo, recordemos un poco: los cuatro elementos griegos: tierra, agua, aire y fuego, más el quinto elemento invisible: el éter, por fin han quedado atrás. Hoy en día, podríamos hablar aproximadamente de 114 elementos registrados. Antes del siglo XIX se habrían descubierto entre 30 y 40 elementos aproximadamente, incluyendo aquellos que el hombre habría utilizado en la antigüedad, tales como carbono, cobre, azufre, hierro entre otros. Son muchos, por tanto, es necesario algo más que una lista. Para los científicos, es importante ordenar y clasificar los datos, por tanto, conforme aumentaba el número de elementos descubiertos, se hacía necesario un ordenamiento.

I H 1.01	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			
Li 6.94	Be 9.01	B 10.8	C 12.0	N 14.0	O 16.0	F 19.0				
Na 23.0	Mg 24.3	Al 27.0	Si 28.1	P 31.0	S 32.1	Cl 35.5				
K 39.1	Ca 40.1		Ti 47.9	V 50.9	Cr 52.0	Mn 54.9	Fe 55.9	Co 58.9	Ni 58.7	
Cu 63.5	Zn 65.4			As 74.9	Se 79.0	Br 79.9				
Rb 85.5	Sr 87.6	Y 88.9	Zr 91.2	Nb 92.9	Mo 95.9		Ru 101	Rh 103	Pd 106	
Ag 108	Cd 112	In 115	Sn 119	Sb 122	Te 128	I 127				
Ce 133	Ba 137	La 139		Ta 181	W 184		Os 194	Ir 192	Pt 195	
Au 197	Hg 201	Tl 204	Pb 207	Bi 209						
			Th 232		U 238					

Imagen 14. Tabla Periódica de Mendeléyev.

Tomado de <https://www.fullquimica.com/2014/09/ventajas-y-desventajas-de-la-tabla.html>

En la Tabla Periódica de Mendeléyev, (imagen 14) los elementos se clasificaban de izquierda a derecha formando líneas horizontales, en orden creciente de peso atómico. Los elementos de propiedades similares (de la misma familia) se disponían en columnas (en vertical), formando grupos. Durante este periodo de tiempo, Mendeléyev dudó de algunos valores de masas atómicas y reordenó la masa atómica de algunos elementos para que concordaran con sus elementos contiguos. Un poquito de historia: Dmitri Ivánovich Mendeléyev nació el 8 de febrero de 1834 en Tobolsk (Rusia) y murió el 2 de febrero de 1907 en San Petersburgo. Realizó muchas investigaciones en el campo de la química, trabajó el concepto de cohesión molecular, investigó sobre temperatura y ebullición, aportó en la agricultura, ganadería, industria, petróleo, incluso fue asesor del ministro de hacienda de Rusia. En 1869 publicó *Principles of Chemistry*, donde desarrolló la Tabla Periódica ordenada por peso atómico y agrupando a los elementos por sus propiedades químicas (I alcalinos, II alcalino-térreos, etc.). No solo explicó las propiedades (físicas y químicas) de los 63 elementos existentes hasta entonces, sino que también predijo la existencia (y la explicación de sus propiedades) de elementos como el galio (Ga), el escandio (Sc), el germanio (Ge) y el tecnecio (Tc), ya que cuando el siguiente elemento por masa no coincidía con las propiedades de su grupo dejaba un cuadro vacío.



Ahora, te propongo que tomes una tabla periódica moderna y establezcas una comparación con la tabla que en su momento presentó Mendeléyev.



Comentarios para el profesor: en el trabajo con los estudiantes, es necesario que establezcan las relaciones de los elementos con sus propiedades y en el caso de Mendeléyev la predicción de los elementos permite comenzar la construcción de la idea de periodicidad y ley periódica. Por otra parte, el maestro puede especificar que Mendeléyev presentó al menos unas 30 tablas periódicas, sin embargo, las modificaciones fueron alrededor de 60.

Plantearle la posibilidad al estudiante de refutar, tanto las ideas de sus compañeros, como las ideas de los científicos los vincula con la naturaleza de la construcción del conocimiento científico y lo integra en el proceso de la construcción de este.

Es común que se hable de especies en vía de extinción, especies como la tortuga mariana, el tití, el manatí entre otras, las cuales están fuertemente amenazadas. En el departamento de Nariño, una de las especies más bellas de osos, el oso de anteojos, también se encuentra en dicho peligro. Pero, ¿puedes creer que enfrentamos esta misma amenaza pero con los elementos químicos? Los teléfonos inteligentes usan aproximadamente 30 elementos y de ellos un poco más de la mitad, están siendo cada vez más escasos; por lo anterior, se requiere tomar medidas urgentes, pues además de ver cómo se pierden especies vegetales y animales, estaremos ante una nueva tabla periódica, totalmente reducida, la imagen 15 muestra la tabla periódica con elementos llamados en peligro de extinción.

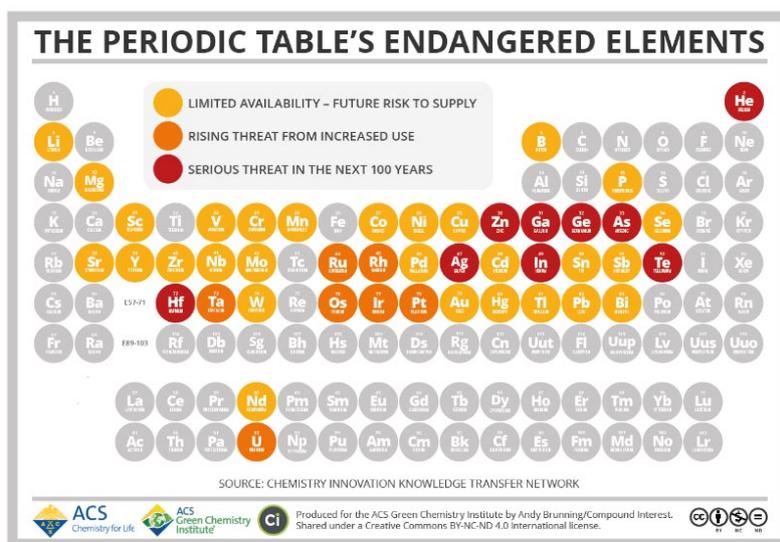


Imagen 15. Tabla Periódica de elementos.

Fuente: <https://rpp.pe/ciencia/mas-ciencia/estos-son-los-elementos-de-la-tabla-periodica-que-están-en-peligro-de-extincion-noticia-1099219>.



En nuestra vida cotidiana, ¿consideras que podemos hacer algo? ¿Qué soluciones propones?

Comentarios para el profesor: este espacio, se propone como un escenario de reflexión, no solo, es posible asumir el problema de las especies amenazadas, sino también de elementos químicos que podrían desaparecer, debido al uso irresponsable y dependiente, así como su ubicación en áreas de conflicto o la incapacidad de reciclarlos. Es interesante, confrontar con los estudiantes qué tanto conocen de sus teléfonos celulares y su disposición final. Además de la actividad planteada, es posible comparar esta tabla con los elementos que consideran más utilizados, y proyectar el impacto que su desaparición puede tener en el mundo.



Imagen 16 Fotografía De cómo el átomo se convierte en 'real' y complejo y adquiere una estructura Solbes (2014).

Hasta el momento hemos realizado un pequeño recorrido histórico por las teorías que trataron de explicar de qué estaba hecho todo cuanto existe. Tanto Demócrito quien no contó con la tecnología ni con el conocimiento científico actual, y sus explicaciones eran de carácter filosófico, como Dalton, quien no pudo "pesar" los átomos, proporcionaron los planteamientos necesarios para la generación del conocimiento que hoy en día se tiene del átomo, además, es importante recordar que actualmente sigue siendo complicado ahondar en el mundo subatómico.



Recuerdas que emprenderíamos la tarea de comprobar o refutar, si es el caso, los postulados de Dalton, comenzamos con el primero: ¿Los elementos están formados por partículas muy pequeñas e indivisibles llamadas átomos?



Thomson utilizó en el Laboratorio Cavendish de la Universidad de Cambridge, del cual era director, un tubo de rayos catódicos, la cual es una válvula con un ánodo y un cátodo en la que se ha hecho casi el vacío (ver imagen 16). Al aplicar una diferencia de potencial, el cátodo emite rayos (de ahí el nombre rayos catódicos) hacia el ánodo. Si el ánodo tiene un pequeño orificio sale un haz de rayos catódicos que se propaga en línea recta (ver imagen 16).



¿Cómo sabemos que son partículas? Van del ánodo al cátodo ¿Qué carga tienen? ¿Conoces algún uso del tubo de rayos catódicos en la vida cotidiana? ¿Qué pasa si les acercas un imán?



Si se les aplica el campo magnético desviaba los rayos catódicos describiendo curvas (en algún caso círculos) cuyo radio depende la carga y la masa de la partícula. Como el radio r , el campo magnético B y la diferencia de potencial V se pueden medir, esto permitió determinar la relación carga/masa.

Comentarios para el profesor: es fácil afirmar qué son partículas porque se visualiza la trayectoria y que su carga es negativa porque van del cátodo al ánodo, pero esto no permite determinar su masa: podría tratarse de átomos cargados negativamente. La segunda pregunta hace referencia a la pantalla de tubos de rayos catódicos de TV y de los ordenadores antiguos. Se comprueba que son e^- porque cuando les acercas un imán la imagen se deforma, y sólo es acercarlo y alejarlo, para que la deformación no sea permanente. Por eso, Thomson utilizó los campos magnéticos de una bobina para determinar la relación carga masa. Aunque por falta de tiempo y porque no disponen de los conocimientos adecuados, el alumnado no puede realizar estos cálculos, es conveniente que los conozca el profesorado, para que pueda entender como lo hizo Thomson. Entre el ánodo y el cátodo se cumple la conservación de energía y, por tanto, la energía potencial $E_p = qV$ es igual a la energía cinética $E_c = \frac{mv^2}{2}$, es decir, $E_p = E_c$ de manera que $qV = \frac{mv^2}{2}$, donde V es la diferencia de potencial entre placas. Por otra parte, se puede ajustar la intensidad del campo magnético B para que la partícula cargada describa una trayectoria circular de radio r con una aceleración $a = \frac{v^2}{r}$. Siendo la magnitud de la fuerza magnética $F = qvB$, de la segunda ley de Newton, $F = ma$, se determina que $qvB = m \frac{v^2}{r}$. Despejando la velocidad en la primera de las ecuaciones y sustituyendo en la segunda, encontramos que $\frac{q}{m} = \frac{2V}{r^2 B^2}$.

Ello demostraba la carga eléctrica negativa inherente a estos rayos y la existencia de una masa y de la consiguiente inercia, que impedía que fueran absorbidos por la placa. Por tanto, debía existir una partícula elemental constituyente de los rayos catódicos, a la que se da el nombre de electrón.

Thomson determinó el valor de la relación entre la carga e y la masa m del electrón, ante lo cual hay muchas cosas interesantes, comenzaremos por aquella que habla de que los átomos son muy pequeños e indivisibles. El 30 de abril de 1897, Thomson anunció el descubrimiento del electrón (aunque él no lo llamó así, lo llamó corpúsculo) en una conferencia impartida en la Royal Society en Londres. Thomson probó que el electrón era una partícula más ligera que cualquier elemento conocido y constituyente de todos los átomos; no obstante, es necesario aclarar que la existencia del electrón había sido predicha por numerosos investigadores y fue propuesta como la unidad de carga en electroquímica por G. Johnst Stoney (1826-1911), que también propuso el nombre "electrón" en 1881.



¿Qué implicaciones tiene para nuestra tarea el descubrimiento de Thomson?

Conozcamos un poco más el trabajo de este científico



¿Qué significa que el electrón tenga masa?

Creo que debemos pensar

Además, Thomson trabajó junto a Ernest Rutherford (1871-1937) y creó una gran escuela de física experimental. Thomson recibió el Premio Nobel de Física en 1906 por el descubrimiento del electrón. La imagen 17 muestra uno de los gráficos más conocidos relacionados con el modelo atómico de Thomson.

Después del descubrimiento de Thomson sobre la relación carga-masa del electrón, Robert A. Millikan (1868-1953), tras muchas pruebas experimentales, logró determinar la carga del electrón conociendo la masa de una gota de aceite cargada que en cuya caída se equilibra con un campo eléctrico E . Hoy día, el valor admitido de esta carga es igual a $1,60210 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.



Imagen 17 Imagen del Modelo Atómico de Thomson.
Tomada de <https://www.investigacionyciencia.es>

A raíz de ello y de la relación de Thomson puede deducirse la masa del electrón, que resulta igual $9,1091 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ (aproximadamente 1.836 veces menor que la del átomo más ligero, el hidrógeno). La experiencia de Millikan sirvió también para constatar que el electrón es la unidad fundamental de carga eléctrica, porque las cargas de las gotitas de aceite siempre eran múltiplos enteros de la carga elemental.



¿Qué implicaciones tiene el valor de la masa del electrón?
Hasta el momento del primer postulado de Dalton con respecto al tamaño y la indivisibilidad del átomo, ¿qué puedes decir?

Comentarios para el profesor: si el electrón tiene masa debe ser una partícula. Al ser 1836 veces menor que la del átomo de hidrógeno, el más pequeño de los átomos, se pudo inferir que se trata de un constituyente de los átomos. Por tanto, éste no es indivisible, ni la menor unidad de masa. El modelo atómico de Thomson, se presenta de manera muy simplificada para la enseñanza, incluso se presentan falsedades históricas en los libros de texto, de tal manera que dicho modelo se enuncia de forma diferente a la realizada por Thomson (Moreno, 2018).

No podemos olvidar la tarea inicial de confrontar los postulados de Dalton y apenas vamos en la primera parte, pero ahora, surge un nuevo reto, y es que Thomson describe el átomo como una esfera de carga positiva difusa, dentro de la cual se encuentran los electrones de carga negativa, los cuales se encontrarían en movimiento y en anillos concéntricos. Otra prueba de que el átomo no era indivisible fue la radiactividad.



¿Qué hechos relacionados con la radioactividad conoces?

Comentarios para el profesor: Becquerel en 1896 descubrió casualmente que las sales de uranio emiten una radiación penetrante. Se encontró que los átomos de los elementos más pesados emitían continuamente algún tipo de radiación. En 1896 Rutherford distinguió 2 clases de rayos, los alfa α y los beta β , y posteriormente un tercero, los gamma γ , que se podía clasificar por su capacidad de penetrar la materia e ionizar el aire, hechos relacionados, respectivamente, con la masa y la carga. Los rayos alfa apenas podían penetrar un trozo de papel y eran muy ionizantes, los beta podían atravesar hasta 3 mm de aluminio y eran menos ionizantes y, por último, los gamma eran muy penetrantes, podían atravesar hasta varios centímetros de plomo, siendo su ionización muy pequeña. Para el análisis de la carga se recurre a campos, observándose, al penetrar el haz de radiación en un campo magnético, que unos rayos siguen rectos, otros se desvían a la derecha y otros a la izquierda. Si se desvían de forma diferente en un campo magnético, ello indica que tienen carga diferente: los rayos alfa α están cargados positivamente, los beta β negativamente y los gamma γ son neutros. El radio de la trayectoria descrita permite determinar las masas de los rayos: como las partículas α tienen un gran radio (se desvían poco), tendrán una masa mucho mayor que las que se desvían mucho. Pronto se vio que los tres tipos de radiación consistían en tipos conocidos de partículas: los rayos α son núcleos de Helio-4 (He-4), los β son electrones y los γ , fotones de energía elevada (mayor que la de los rayos X).

Estos rápidos rayos proporcionaron el instrumento necesario para verificar el siguiente paso: comprobar el extraño interior del átomo. Entonces con la ayuda de uno de los alumnos de Thomson, Ernst Rutherford, trataremos de probar si el modelo de Thomson tiene o no problemas. En 1911, en Manchester se llevó a cabo una experiencia encaminada a corroborar el modelo atómico de Thomson. La experiencia desarrollada por Geiger, Marsden y analizada por Rutherford consistía en bombardear con partículas alfa (núcleos del gas helio) una fina lámina de metal.



Pensemos lo siguiente, si el átomo es neutro, constituido por una esfera positiva en la que se encuentran distribuidos los electrones, e incide sobre ellos un rayo de carga positiva, ¿qué podríamos esperar que suceda?

Comentarios para el profesor: *el desarrollo científico y el conocimiento que se construyó con el descubrimiento de la radioactividad en 1896, por Becquerel, no solo tiene una importancia histórica y científica en la construcción de las teorías alrededor de la estructura de la materia, también, se constituyen en una herramienta didáctica para articular cuestiones sociocientíficas en la enseñanza (Solbes, 2013). Los trabajos de Madame Curie, permitieron comprender que la radioactividad era una propiedad intrínseca lo que favoreció el desarrollo del conocimiento de la estructura atómica. El trabajo desarrollado por Rutherford parte de los rayos descubiertos por Becquerel.*

Pues bien, el resultado esperado era que las partículas alfa atravesasen la fina lámina sin apenas desviarse. Para observar el lugar de choque de la partícula colocaron, detrás y a los lados de la lámina metálica, una pantalla fosforescente. Las partículas alfa al tener carga eléctrica positiva serían atraídas por las cargas negativas y repelidas por las cargas positivas, como en el modelo atómico de Thomson las cargas positivas y negativas estaban distribuidas uniformemente, la esfera debía ser eléctricamente neutra, y las partículas alfa pasarían a través de la lámina sin desviarse. Tal y como esperaban, la mayor parte de las partículas atravesó la lámina sin desviarse. Pero ¡oh, sorpresa! algunas sufrieron desviaciones grandes y, lo más importante, un pequeño número de partículas rebotó hacia atrás.

Comentarios para el profesor: *en este sentido, es importante enfatizar que, en 1904, cuando Thomson presenta su trabajo, la esfera de carga positiva, no estaba respaldada experimentalmente, pudiéndose considerar una especulación (Doménech et al., 2013), por tanto, el experimento de Rutherford tiene un valor fundamental para determinar sus limitaciones; además, es un hecho que permite insistir en la dinámica científica seguida para la construcción del conocimiento, no solo en lo que respecta a los modelos atómicos.*



¿Por qué los hechos experimentales serían una prueba de que el átomo de Thomson no era una esfera positiva con electrones distribuidos en círculos concéntricos?

¿Qué aportes hace Thomson al conocimiento de la estructura del átomo?

Comentarios para el profesor: *hasta el momento no se ha pedido al estudiante que grafique o dibuje -tampoco se hará- el átomo de Rutherford, ni se ha presentado una imagen alusiva al modelo, lo anterior debido a que el modelo presentado por Rutherford en 1911 no asumía un núcleo positivo únicamente, sino simplemente, la concentración de la carga de cierto signo en el núcleo y en la corteza una carga opuesta (Moreno, 2018).*

Rutherford sugirió que el núcleo de hidrógeno, que en la época se sabía que su número atómico era 1, debía ser una partícula fundamental. Pero, antes que Rutherford, Eugen Goldstein había observado rayos compuestos de iones cargados positivamente en 1886. Luego del descubrimiento del electrón por J.J. Thomson, Goldstein sugirió que, puesto que el átomo era eléctricamente neutro, el mismo debía contener partículas cargadas positivamente. Realizó algunos experimentos con rayos canales.



“

Pero no olvides que tenemos una tarea pendiente relacionada con Dalton, ¿lo habías olvidado? Recuerdas que su primer postulado decía: Los átomos de un elemento son idénticos (igual masa, propiedades

”

¿Has escuchado hablar de los isótopos? Pues bien, en primer lugar, es necesario especificar que un átomo de un determinado elemento tiene el mismo número de protones, lo que configura su número atómico y determina su posición en la tabla periódica. Sin embargo, existen átomos de un mismo elemento que tienen propiedades y masas distintas.



¿Qué sabes de los isótopos?

Los hallazgos realizados por Rutherford y sus colaboradores, llevaron a que el científico propusiera un modelo en el que el átomo estuviera formado por dos regiones claramente definidas, un núcleo positivo en el que se concentraría la masa y una periferia en la que se encontrarían los electrones. Además, planteó una relación muy interesante con respecto al tamaño del átomo, si bien el tamaño de los átomos varía como es lógico dependiendo del elemento, hay unas relaciones constantes que nos permiten tener una idea de dichas dimensiones y se propone que si el radio de un átomo es 10^{-8} m su núcleo 10^{-13} m.



Contrasta el concepto de isótopo con la idea de Dalton que expresa que los átomos del mismo elemento son idénticos, ¿Realmente son idénticos?

Comentarios para el profesor: la actividad que se propone a continuación permite generar un espacio diferente de aprendizaje, es importante contextualizar al estudiante en el uso de la palabra probabilidad.



Nos vamos a plantear un pequeño ejercicio con base en los valores anteriores: tomando una esfera de 1 mm de diámetro, considerada como el núcleo de un átomo, deduce el diámetro del átomo ¿Qué implicaciones tiene esta proporción para un modelo de átomo?



Comentarios para el profesor: como el diámetro del átomo es unas 105 veces el del núcleo, si tomamos 1 mm para el diámetro del núcleo, eso nos da 100 m para el diámetro del átomo, que es aproximadamente la longitud de un campo de fútbol, lo cual permite inferir que la elaboración de maquetas, esquemas y dibujos no corresponde con una escala al menos aproximada de un átomo.

Bueno, el experimento de Rutherford demostró que el átomo tenía núcleo. Pero nuevamente surgen problemas en el átomo de Rutherford. Era inconsistente con la teoría electromagnética clásica. Según ésta, un electrón que gira alrededor del núcleo emite energía continuamente en forma de ondas electromagnéticas, lo cual le llevaría a caer muy rápidamente sobre el núcleo, en contradicción con la evidente estabilidad de los átomos. Esta vez le correspondió ese trabajo a Niels Bohr, un científico danés que tuvo un papel muy importante en el desarrollo de la tecnología para la Bomba Atómica.



¿Sabes que es el proyecto Manhattan?
¿Qué papel desarrollaron los científicos en este proyecto? ¿Qué papel juega el descubrimiento de la radiactividad y la energía nuclear en la actualidad?



Comentarios para el profesor: de nuevo, es posible el trabajo desde situaciones sociocientíficas que además de dinamizar el proceso de construcción del conocimiento por parte del estudiante, favorecen el desarrollo de un pensamiento crítico en el estudiante y a tomar posición frente al desarrollo tecnocientífico.

En la introducción de los planteamientos de Bohr, no se hará alusión a la idea de órbitas, por cuanto esta idea genera errores conceptuales en los estudiantes, es importante anotar que, justamente por este hecho, algunos autores se declaran en contra de la enseñanza del modelo atómico de Bohr, este es el caso de Fischler y Lichtfeldt (1992). Por otra parte, lo ideal es insistir en la cuantización de la energía y el momento angular, asimismo, en la idea de estado estacionario y posteriormente la de nivel de energía (Solbes, 2018). De tal manera, que para el diseño de esta secuencia se partió de lo planteado por Solbes y Sinarcas (2009) sobre trabajar los planteamientos de Bohr como herramientas útiles que permiten introducir de forma sencilla el

concepto de estado, caracterizado por los valores definidos de unas magnitudes, la energía y el momento angular.

Autoevaluación

Al finalizar el capítulo, es importante detenernos a pensar en el trabajo que hicimos, para ello, te invito a desarrollar una autoevaluación muy sencilla:

Elementos de evaluación	Plenamente	Parcialmente	No lo hice
Desarrollé las actividades propuestas			
Participé de las actividades en grupo			
Leí el desarrollo de la temática			

3.3 Tercer Momento de la Secuencia de Enseñanza Aprendizaje Más que una Crisis

Una crisis, es un quiebre, una interrupción en un estado de normalidad. Este capítulo nos pondrá de frente a la mayor crisis que la ciencia clásica ha enfrentado. La imposibilidad de que la física explicara algunos fenómenos muy conocidos, pero que no tenían una explicación desde el acervo de conocimientos que hasta el momento se había desarrollado, pese a que se consideraba que la ciencia podría explicarlo todo, era objetiva y prácticamente un dogma. Como puedes ver, este capítulo muy corto, puede generar una gran inquietud en nuestro conocimiento.

Antes que nada, nos detendremos a pensar en un fenómeno que inquietaba mucho a los científicos del momento, se trata de los espectros atómicos (imagen 18). Imagina que hasta el momento hay aproximadamente 100 elementos químicos, claro está, muy bien acomodados en la tabla periódica, con nombres y propiedades, no obstante, a un elemento no podrías preguntarle su nombre, entonces ¿cómo podrían identificarlos los científicos? Pues bien, los átomos al igual que tú tienen huellas digitales, Newton en 1666 descubrió que cuando un rayo de luz blanca pasa por un prisma separa los colores simples que conforman la luz.

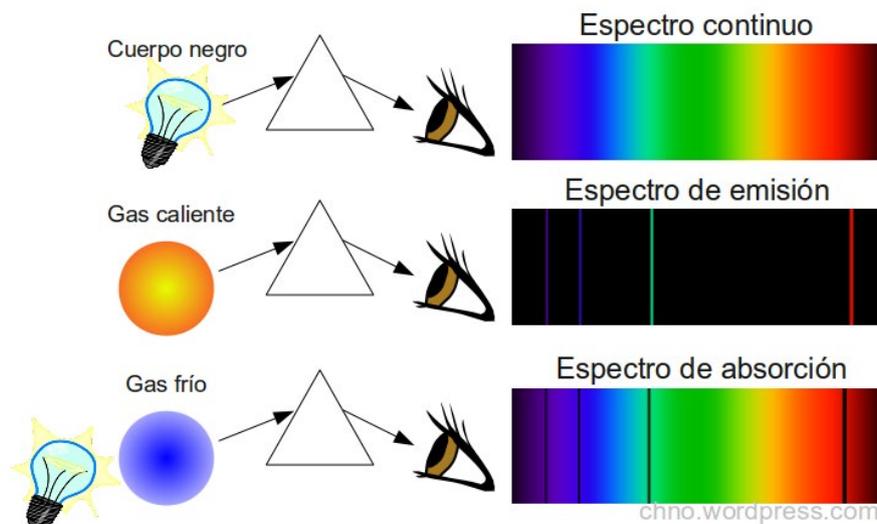


Imagen 18 Espectros Atómicos.

Tomada de <http://elfisicoloco.blogspot.com/2012/11/espectros-atomicos-emision-y-absorcion.html>



Construye una sencilla red de difracción y vamos a analizar algunas fuentes de luz.



Nada más lindo que el arco iris. Así como la luz proveniente del sol se descompone y nos permite ver el arco iris con todos los colores que componen la luz blanca, de igual manera, los átomos al quemarse producen radiaciones, estas emisiones conforman los espectros, que pueden ser continuas como el arco iris o discontinuas, como las producidas por algunos vapores como el del hidrógeno o el mercurio. Estos espectros discontinuos contienen solo algunos colores del espectro visible. Balmer descubrió en 1885 que el valor de las longitudes de onda o las frecuencias (color) de las rayas puede ser determinadas por la siguiente fórmula: $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$, donde $R = 1,0974 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$ y se conoce como la constante de Rydberg, m y n números enteros.

¿Qué tienen que ver los espectros atómicos, con el modelo atómico de Rutherford? Que tanto el modelo de Thomson como el de Rutherford, eran incapaces de explicar el carácter discontinuo y característico de los espectros atómicos. Pues bien, el hecho de que cada elemento químico tenga un espectro discontinuo y característico estarían relacionadas con el hecho de que solo unos estados de energía son posibles para el electrón dentro del átomo y que el salto del electrón desde un estado de mayor energía E_f a uno de menor energía E_i , daría lugar a la emisión de una radiación electromagnética, de tal manera que el valor de la energía emitida es siempre un fotón o un cuanto de luz de frecuencia ν : $E_f - E_i = h\nu$.



Imagen 19 Espectroscopio casero.

Comentarios profesorado: la construcción de una rejilla de difracción se puede hacer utilizando un CD, al que previamente se le ha retirado su cubierta, los surcos que tiene el cd actúan como rejilla. Con este material, se puede además construir el espectroscopio casero (imagen 19), para ello se necesita un tubo de cartón de aproximadamente 20 cm de largo, cartulina negra.



Imagen 20. Reanura de observación, espectroscopio casero.

La parte interior del tubo debe ser negra y en su base es necesario hacer una abertura en forma cuadrada de aproximadamente 1,5 cm de lado (Imagen 20).

En la parte superior, se colocará una tapa completamente negra en la que se realiza una pequeña ranura, lo más centrada posible (imagen 20).



Imagen 21 Rejilla de Difracción con elaborada con CD.

Para finalizar en la abertura realizada en la base del tubo, se coloca una parte del CD, al que se le retiró su cubierta, buscando que las líneas queden paralelas a la de la ranura (imagen 21).

Utilizando la ecuación de Balmer-Rydberg: $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$, teniendo en cuenta además la imagen 22, donde λ representa la longitud de onda

- (n_1) representa el número entero del estado energético más alto para una emisión espectral.
- (n_2) representa el número entero del estado energético más bajo para una emisión espectral (el estado energético de 1 es el más bajo).

Calcular la λ para un electrón que pasa del nivel 3 al nivel 2. Compara los resultados con el espectro del hidrógeno.



Por si no lo notaste, apareció una nueva palabra: **fotón**, ¿de dónde salió?

Tú sabes que nada aparece por arte de magia. Pues bien, será importante que nos detengamos en ella. Para ello, primero discute con tus compañeros lo que observaron en el video que les presentó su profesor@.



Comentarios profesorado: en esta fase de la secuencia, es importante detenerse para poner de manifiesto con los estudiantes, nuevamente las características de los fenómenos corpusculares y los fenómenos ondulatorios, así como, una breve presentación de la física clásica, sus alcances y su importancia, lo anterior, para que el estudiante pueda evidenciar la diferencia que puede presentarse entre diversas teorías. En este diseño no se considera conveniente trabajar las ideas de Planck, por la complejidad que ellas representan (Solbes, 1990), pero la utilización del video: *Max Planck y la Teoría Cuántica* <https://www.youtube.com/watch?v=bm7FSHokRIA&t=9s> permite identificar que el cuanto de acción de Planck (1900), muestra las limitaciones de la física clásica. Se recomienda parar el video en el minuto 5:18 por cuanto aparece el átomo de Bohr explicado con órbitas, situación que se quiere evitar.

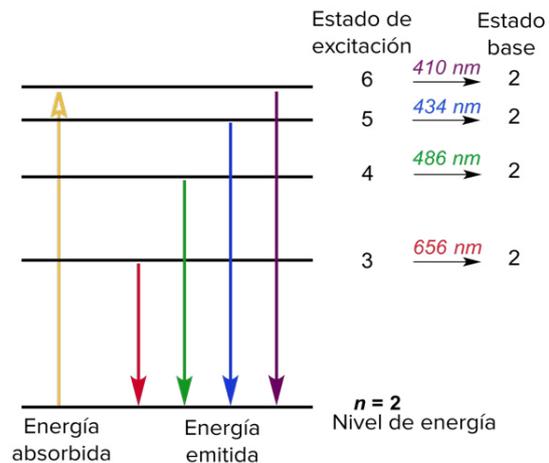
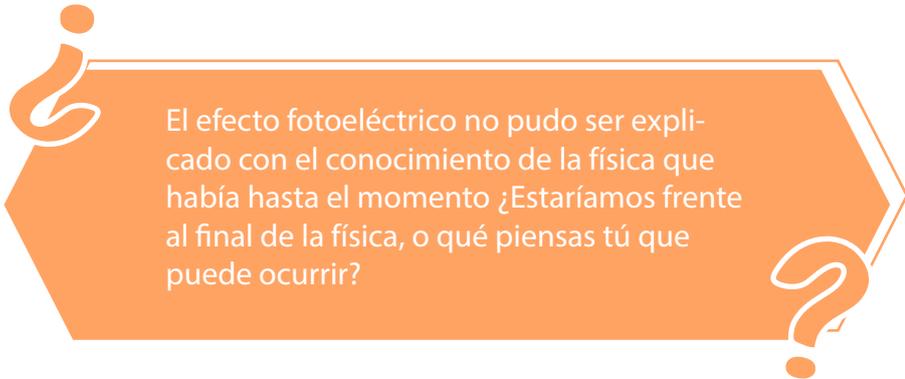


Imagen 22 Series espectrales.
Tomado de <https://www.khanacademy.org/science/chemistry/electronic-structure-of-atoms/bohr-model-hydrogen/a/spectroscopy-interaction-of-light-and-matter>

Debemos regresar unos años atrás, en 1900, Max Planck plantea su tesis sobre los cuantos de luz, Einstein los utilizaría para explicar un fenómeno que tenía intrigados a todos por esa época, el efecto fotoeléctrico. ¿Qué es este fenómeno? Los electrones en el metal fluyen con libertad y con la excitación o el aporte de energía, el electrón podría escapar de la placa generando una corriente eléctrica. De acuerdo con lo que hasta el momento se sabía de

física, era de esperarse que a mayor intensidad de luz que incida en el metal, mayor flujo de electrones, pero ¡oh, sorpresa! No era la intensidad sino la frecuencia de la luz la que al alcanzar un umbral mínimo permitiría que los electrones escaparan.



Comentarios profesorado: El efecto fotoeléctrico se constituye en otro recurso epistemológico muy valioso que permite poner de manifiesto las limitaciones de la física clásica y permite la construcción del quiebre epistemológico entre la física clásica y el surgimiento de la TC (Sinarcas y Solbes 2013), de tal manera que es necesario abordarlo en la enseñanza de la EAM, porque asumir las limitaciones de la física clásica, abren un espacio para que los estudiantes se acerquen a la naturaleza de la ciencia (Sinarcas y Solbes 2013).

3.4 Cuarto Momento de la Secuencia de Enseñanza Aprendizaje: una Nueva Ciencia, un Nuevo Átomo

Una nueva ciencia, un nuevo átomo. En el último capítulo podremos encontrar una experiencia de construcción de una nueva ciencia. Parece un tanto absurdo, pero durante el desarrollo del capítulo se abrirá la posibilidad de conocer una nueva perspectiva en la ciencia, que a la vez configura una nueva forma de entender el átomo.

No creas que hemos olvidado a Dalton y la intención de revisar sus planteamientos. Hasta el momento está claro que el átomo no es indivisible, pero han surgido muchos problemas en torno a la posibilidad de establecer su estructura. Bohr nos plantea que en el átomo los electrones no pueden tener cualquier valor de energía, solo ciertas energías discretas (cuantizadas); no obstante, fue incapaz de explicar los espectros de los átomos polielectrónicos y la existencia de direcciones privilegiadas en los enlaces atómicos.



“

Pero por favor, no olvidemos que lo importante de Bohr es que introdujo la cuantización de la energía para el átomo. Entonces el átomo nunca sería el mismo, la ciencia y el mundo tampoco...

”

Comentarios profesorado: de esta manera se configura el escenario para trabajar más sobre la TC, como una teoría que involucra una nueva manera de entender el mundo físico. Este es el momento de retomar los conceptos de determinismo que se trabajaron en la introducción de la secuencia, haciendo alusión de que ahora es una nueva ciencia, para un nuevo átomo.

De igual manera, es importante que los estudiantes sean motivados a trabajar siempre con su tabla periódica y utilizarla como un recurso ordinario en las clases de química (especialmente), y relacionar los conceptos trabajados con la organización periódica de los elementos, no esperar al final de la unidad para que aparezca este conocimiento.

Tomando como punto de partida el modelo de Bohr, explica cómo funcionan los avisos fosforescentes o fluorescentes en señales de tránsito e incluso en prendas de ropa

Vamos a trabajar con una de las herramientas más importante que tiene un químico: se trata de la tabla periódica. Es útil porque condensa el saber de muchos años, pero lo hace de una manera organizada, cada elemento ubicado tiene una razón de ser, está ahí porque sus propiedades así lo establecen. La tabla periódica de Mendeléyev, fue propuesta en 1869, y su organización se basó en el orden creciente de los pesos atómicos, sin embargo, Moseley demostró que la organización estaría determinada por el número atómico, cuestión evidenciable en 1913 cuando el número atómico del hidrógeno crecía hasta el del uranio. Pero Niels Bohr, en 1923 propone que la periodicidad de los elementos se podría explicar

mediante la estructura electrónica del átomo. Busquemos una propiedad que nos ayudará a comprender los portes de Bohr, se trata de la energía de ionización.

Busca y compara la energía de ionización del berilio (Be), magnesio (Mg), calcio (Ca), explica la manera cómo varía ésta en la tabla periódica.

¿Cómo se enuncia la ley periódica?



“

Bueno, clarifiquemos algunas cosas Bohr introduce la cuantización de la energía, al átomo; Einstein con anticipación explicó el efecto fotoeléctrico utilizando el concepto de cuantización de la energía, en este caso para la luz, el concepto de cuantización se derivó de los trabajos de Planck en los que establece que la luz se emite a través de paquetes de energía denominados cuantos, lo que implicaría que la luz tendría un comportamiento dual.

”

¿Qué otros objetos cuánticos aparte de los electrones puedes mencionar?

Comentarios profesorado: al preguntar por otros objetos cuánticos, se espera que los estudiantes relacionen también el fotón y los objetos subatómicos.

De Broglie obtuvo la fórmula que relaciona la longitud de las nuevas ondas con la masa y la velocidad de los cuerpos en movimiento. Su forma es la siguiente: $\lambda = \frac{h}{mv}$, donde λ es la longitud de onda de De Broglie, m y v , la masa y la velocidad del cuerpo respectivamente, $h = 6,6 \times 10^{-27} \frac{\text{ergios}}{\text{segundo}}$ ergios/segundo, es la constante de Planck.

Calcular la longitud de onda de los siguientes cuerpos:

- La Tierra en su rotación alrededor del Sol ($m = 6.1024 \text{ kg}$ y $v = 3.104 \text{ m/s}$)
- Una piedra pequeña de 10 g lanzado a 1 m/s.
- Un electrón que, sometido a un campo eléctrico, ha adquirido la velocidad de 6.105 m/s ($m = 9,1.10^{-31} \text{ kg}$)

Comentarios profesorado: la propuesta es que, el docente realice el primer ejercicio a manera de explicación y demostración, enfatizando en el proceso y en las consecuencias que traen los resultados obtenidos dependiendo de la masa y de la velocidad de cada uno de los elementos planteados en los ejercicios.



¿Qué significado pueden tener los resultados obtenidos para la tierra, la piedra y el electrón?

Recuerdas a J. J. Thomson, quien demostró el carácter corpuscular del electrón, es su hijo quien justamente comprobaría la difracción de los electrones ¿Qué significado tiene este hallazgo?, ya que entre otras cosas significó para G.P. Thomson el premio nobel.



El doctor Quantum nos explica de una manera muy interesante la difracción de los electrones, que a su vez implica que el electrón tenga también un comportamiento dual. ¿Qué conclusiones puedes deducir de este video?

Comentarios profesorado: el doctor Quantum, es muy conocido en la red y uno de sus videos es el propuesto para esta actividad, se encuentra en el video: "El experimento de la doble rendija" <https://www.youtube.com/watch?v=KYX4ki7y-xI> (Solbes y Sincarcas, 2010). Es necesario desarrollar con los estudiantes un trabajo durante el video, incluso se puede interrumpir por momentos para permitir a los estudiantes que realicen sus hipótesis frente a las situaciones presentadas. Lo más extraño es la desaparición del diagrama de interferencia cuando sabemos por cuál rendija pasan los electrones. Esto es lo más inadecuado del video (y el profesor debe advertir de ello a los estudiantes) porque parece que la desaparición del diagrama de interferencia es debida al "observador", cuando en realidad es debido a que medimos por dónde pasa el electrón y la medida es una interacción que perturba el estado del sistema. Esto ha dado pie a una serie de pseudociencias como la curación cuántica, la psicología cuántica, etc. (Solbes, 2013). Pero aún es peor cuando parece atribuirle libre albedrío al electrón que, según sus propias palabras, "decide actuar de forma inconsciente como si supiera que le están observando", dando pie a toda la utilización ideológica y pseudocientífica de la cuántica tan criticada por autores como Levy-Leblond (2002).

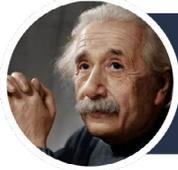
Desde las implicaciones descritas, ¿Qué relación puedes establecer con la manera en que hoy en día se entiende el conocimiento científico y la manera de hacer ciencia

Lo que quiere decir es que el cuanto según el experimento se manifiesta como onda o como partículas. En otras palabras, los electrones o los fotones, por ejemplo, no son ni pequeñas bolas (partículas) ni pequeñas olas (ondas) y deben ser absolutamente concebidos como objetos de tipo nuevo, los "cuantos" (Feynman, 1971; Levy-Leblond, 2002)

Relaciones de Indeterminación



A continuación, encuentras seis frases, imagen 23, realiza en tu equipo de trabajo un análisis de cada una



Dios no juega a los dados. *Einstein*



La ciencia no admite excepciones, de lo contrario no habría determinismo en la ciencia, o más bien no habría ciencia. *Bernard*.



La mecánica de Newton ofrece la posibilidad de predecir desde el movimiento de un electrón hasta el de una galaxia. *French*.



La luz es la forma más refinada de la materia. *Heisenberg*.



Cuando llego a una bifurcación la tomo. *Yogui*.

Imagen 23 Frases de análisis.

Comentarios profesorado: La actividad de las frases es una introducción al tema, que tiene como objetivo evidenciar ciertas posiciones epistemológicas y que además se pueden ubicar en el contexto de la física clásica y la TC, permitiendo además establecer el quiebre entre las dos.

La investigación en enseñanza de conceptos relacionados con la TC, pone en evidencia que además de las dificultades conceptuales se presentan dificultades epistemológicas relacionadas con lo que se puede o no conocer y, por lo tanto, con las relaciones de indeterminación de Heisenberg y con la interpretación probabilista (Solbes, 2009; Solbes y Sinarcas, 2009 y Sinarcas y Solbes 2013). En la cita anterior, no se habla de “principio de incertidumbre”, ni tampoco se hará

en esta secuencia, por cuanto, esta se suscribe a lo planteado por Solbes (2018) en el sentido de establecer que:

...al igual que otros supuestos principios de la cuántica (correspondencia, exclusión, complementariedad) no es tal principio, ya que no aparece como uno de los postulados que dan respuesta a las preguntas básicas: ¿cómo se define el estado de un sistema y qué magnitudes lo caracterizan?, ¿cuáles son los valores posibles de cada magnitud?, ¿cuál es la probabilidad de obtener cada uno de estos valores si se realiza una medida?, y ¿cómo evoluciona el estado del sistema en el tiempo? Con ello se olvida que los principios básicos de la teoría cuántica conducen a las relaciones de indeterminación, y que, si se parte de estas, no se pueden deducir aquellos. (Solbes, 2018, p.28).

En la física clásica, si se conoce las condiciones iniciales de un sistema es posible determinar el estado del sistema en cualquier otro instante. El carácter ondulatorio de un electrón se asocia a una deslocalización que impide situar al electrón en un punto determinado. Por tanto, también existe una indeterminación en el movimiento, lo que hace que el electrón carezca de trayectoria (las relaciones de indeterminación de Heisenberg).



Entonces, ¿por qué principio de incertidumbre?

Puedes explicarme entonces ¿de qué se trata esta inecuación $\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{2}$?

Si se aplicara la ecuación a un grano de polvo que tuviera una masa de 10^{-5} g y si se mueve a una velocidad de $1 \frac{m}{s}$ aproximadamente, se tendría una imprecisión de la posición de $\Delta x = 10^{-23}$ m. Sin embargo, si el mismo ejemplo se aplica a un electrón cuyo tamaño se puede considerar de 10^{-18} m, entonces $\Delta x = 0,1$ m.

Comentarios profesorado: una vez realizadas estas actividades, es importante plantearle al alumno que con las relaciones de indeterminación se pierde el concepto de trayectoria y por tanto de órbita. Es necesario que los docentes relacionen los conceptos implicados y no solamente la presentación del concepto o una breve introducción histórica.

Nuevamente, retomando la introducción que se realizó a la secuencia, es importante contextualizar al estudiante sobre el uso de la palabra incertidumbre, como traducción de uncertainty, pese a que, Heisenberg utilizó tanto la palabra "incertidumbre" como "indeterminación", prevaleciendo, "incertidumbre" (Levy-Leblond, 2002). Este hecho tiene importancia, tal como lo cita Solbes (2018) pues, incertidumbre evoca la imposibilidad de conocer la posición o la cantidad de movimiento con precisión, sin embargo, esto no solo es posible, sino que se puede conocer con altísima precisión. La imposibilidad está en determinar simultáneamente con precisión absoluta la posición y la cantidad de movimiento. Esta claridad, es indispensable, más aún cuando algunos libros de texto afianzan una marcada dificultad en este tema, cuando se asume, en las

relaciones de indeterminación un problema con los aparatos de medida y no con la naturaleza de los objetos cuánticos (Sinarcas y Solbes, 2013)



¿Qué deducción puedes realizar del ejemplo descrito anteriormente?
 ¿En qué caso es significativa la relación de indeterminación?
 ¿Qué implicaciones puedes deducir de las relaciones de interminación?

Comentarios profesorado: La pregunta relacionada con las implicaciones de las relaciones de indeterminación deberá ser complementada por el docente, ya que la intencionalidad es llevar al estudiante a la deducción de la imposibilidad del conocimiento “simultáneo” de la posición y de la cantidad de movimiento, y por ello, la pérdida de noción de trayectoria en el caso del electrón y demás objetos cuánticos, y reiterar los límites de validez de la física clásica (Solbes y Sinarcas, 2010); estas deducciones son fundamentales para comenzar a trabajar el concepto de orbital.

En este espacio de trabajo, se puede introducir imágenes, los memes, aforismos, al igual que las caricaturas, como un recurso didáctico, tanto en la construcción de los conceptos, como en la evaluación de estos. Presentar imágenes como las anteriores, o mejor aún, proponer a los estudiantes que ellos mismos las diseñen, permite que estos propongan explicaciones a los fenómenos o identificar los errores que en ellas se puedan encontrar.

Lo que se pretende con las imágenes es que los estudiantes, puedan evidenciar errores que se presentan en las representaciones de dualidad; para el primer caso, que no se trata de que el electrón cuando es visto se comporta de una o de otra manera, para la segunda imagen, el error que se busca que los estudiantes determinen es que la dualidad no se trata de una partícula que cabalga sobre una onda, sino de un objeto cuántico con propiedades diferentes.

¿Cómo crees que se sentiría Newton, Aristóteles y Einsten, cuando se plantea la idea de que la luz, los electrones y en sí el átomo tiene un comportamiento cuántico?

Bien Aristóteles siempre se incomodó con este tipo de ideas y a mí también me parecen un tanto complicadas y mira que no fui un filósofo común, pero ¿Qué tiene que ver esto con el átomo?



Aparece en escena otro científico, Schrödinger; quien propone una explicación matemática al átomo, ya no con modelos y analogías que han sido muy útiles, pero que tenían muchas limitaciones al ser probadas experimentalmente. Después de que De Broglie propuso la naturaleza ondulatoria de la materia en 1924, lo que implicaba que toda materia tenía una onda asociada a ella, es generalizada por Erwin Schrödinger en 1926, es decir este propone una ecuación para esa onda, se descarta la idea de los electrones como esferas diminutas con carga que giran en torno al núcleo.



¿El átomo y sus electrones descrito por una ecuación matemática?

La ecuación de Sch Schrödinger, pero,

¿cómo una ecuación puede describir el átomo?

Comentarios profesorado: Presentar la ecuación de Schrödinger, puede ser complicado, teniendo en cuenta los preconceptos que los estudiantes tengan al respecto, es por ello por lo que se hizo énfasis y necesario distinguir las características de los fenómenos ondulatorios y corpusculares y las ecuaciones de los mismos. Una alternativa para presentar la ecuación puede ser, utilizar la ecuación de energía para una onda. Se sabe que la ecuación clásica para la energía total de una partícula puede describirse como: $E = \frac{p^2}{2m} + U$

El primer término representa la energía cinética y el segundo la energía potencial.

Hasta el momento se han descrito las ecuaciones clásicas, entonces es necesario trabajar con los estudiantes que, así como las funciones que describen las ondas verifican la ecuación de onda, Schrödinger presenta la ecuación para la función de onda $\psi(x, t)$ que describe un comportamiento ondulatorio de una partícula. Esta ecuación se deduce escribiendo:

$$E = i\hbar \frac{\partial}{\partial t},$$

$$p^2 = -\hbar^2 \frac{\partial^2}{\partial x^2}$$

que son operadores que actúan sobre la función de onda $\psi(x, t)$ de manera que la ecuación clásica de la energía se expresa como:

$$i\hbar \frac{\partial \psi(x, t)}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \psi(x, t)}{\partial x^2} + V(x, t)$$

Pues bien, la ecuación describe a aquellos objetos cuánticos, es decir, ni partículas ni ondas clásicas, está se determinará como una función de onda o de estado ψ , Schrödinger aplica dos conceptos fundamentales, la conservación de energía y la formulación matemática del concepto de onda, se describe a los electrones por medio de una función de onda. En 1926 Born da una interpretación probabilística a la ecuación, en la que el cuadrado de la función de onda representa la probabilidad de presencia del electrón en una región delimitada del espacio.

La complejidad matemática para resolver la ecuación para átomos polieletrónicos es tal, que por ello que se plantearon dos tareas, la primera, resolver la ecuación para un electrón, y la segunda, determinar donde se encuentran los electrones en el átomo de hidrógeno. Para la primera tarea se mostró que los valores posibles de energía del electrón dependían de un número entero n en la forma: $E_n = -\frac{13.6}{n^2}$ donde toma valores desde 1 hasta el infinito. Este resultado indica que la energía está cuantizada, es decir, toma valores enteros y constituyen los niveles energéticos.



Los niveles de energía del átomo se reflejan en la tabla periódica como periodos, explica que características tiene cada periodo y pinta la tabla periódica de tal manera que estos sean evidentes.



Comentarios profesorado: En este escenario, es importante destacar que los números cuánticos son consecuencia directa de la solución de la ecuación de Schrödinger y se definen como el conjunto de valores numéricos los cuales dan soluciones aceptables a la ecuación de onda de Schrödinger para el átomo de hidrógeno. Los números cuánticos son valores enteros o semienteros que identifican el estado de un sistema físico tal como un átomo, un núcleo o una partícula subatómica. Los principales números cuánticos para los electrones confinados en un átomo indican la energía del estado y la probabilidad de encontrar los electrones a diferentes distancias del núcleo. No existe una única manera de determinar la cantidad de números cuánticos que son necesarios para describir un sistema, solamente un completo análisis del mismo permitirá establecer la cuantía de estos números que mejor describe el estado cuántico del sistema.

Los números cuánticos son consecuencia directa de la solución de la ecuación de Schrödinger y se definen como el conjunto de valores numéricos que caracterizan las soluciones aceptables a la ecuación asociada al átomo de hidrógeno. En general, para un sistema no es posible determinar de manera única la cantidad de números cuánticos que son necesarios para describirlo, solamente un completo análisis del mismo permitirá establecer la cuantía de estos que mejor describe el estado cuántico del sistema.



El orbital atómico como la función de estado, caracterizado por tres números cuánticos que establecen la información del electrón, y

¿dónde quedó mi idea y la de Dalton sobre el átomo?

Comentarios profesorado: Normalmente e incluso en los libros de texto, se relaciona el orbital atómico como una región del espacio en la que existe la probabilidad de encontrar el electrón. Es necesario que el docente no relacione la idea de espacio independiente del electrón y se plantee únicamente como la función de onda del electrón.

Ahora bien, el número cuántico principal determina la energía, el nivel en que habría la probabilidad de encontrar el electrón. Toma valores enteros sencillos, normalmente se toma como 1, 2, ... 7, incluso 8. El número cuántico secundario (l) toma valores desde n-1, entonces si n=1, l= 0, si n=2, l=1, se ha determinado una convención 0=s, 1=p, 2=d, 3=f.

Cuando n=1, existe una solución, el cuadrado de esta, por la interpretación de Bohr, corresponde a una esfera, imagen 24.

Cuando n=2 existen 4 soluciones, una esfera y tres figuras en forma de 8, de igual tamaño, pero diferente orientación, una a lo largo del eje x, otro a lo largo del eje y, el otro en el eje z, estas tres con idéntica energía, tal como se observa en la imagen 25.

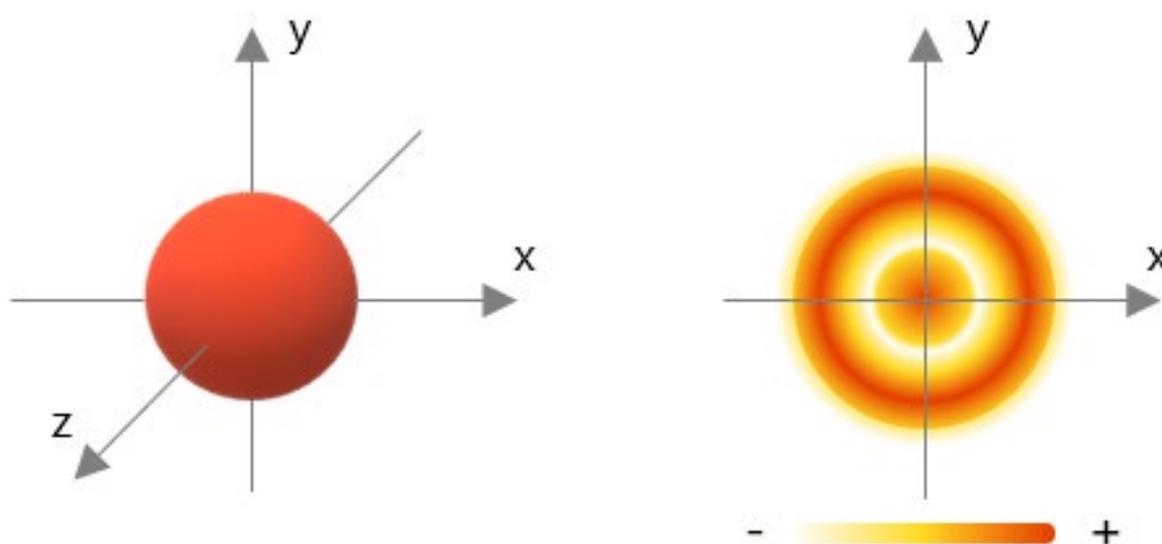


Imagen 24 Orbital S.

Fuente: <https://www.quimicas.net/2015/05/los-orbitales-atomicos.html>

Cuando n= 3 existen 9, al igual que el anterior, una esfera, las tres en forma de 8 pero con mayor energía y cinco más, igualmente estas últimas con idéntica energía entre sí, tal como se observa en la imagen 26

Cuando n=4, se encontrarán las mismas que en 3, pero con mayor energía y 7 más.

Los electrones configuran estas disposiciones, es decir dependen del electrón, son los orbitales atómicos y fueron clasificados por tipos: s, p, d, f.

Pero sólo con los números cuánticos de Schrödinger no se puede explicar el número de electrones en cada nivel, y en consecuencia, el sistema periódico. Para ello Pauli introdujo en 1925 un cuarto número cuántico m_s que sólo podía tomar 2 valores y el principio de exclusión de Pauli, según el cual los electrones de un átomo no pueden estar en el mismo estado, es decir, no pueden tener los mismos números cuánticos n, l, m_l, m_s . El mismo

año Uhlenbek y Goudsmit sugirieron que un electrón se comporta como una esfera giratoria, al igual que los planetas que giran sobre su eje, esta propiedad se denominó espín del inglés "spin" que significa girar sobre sí mismo.

Comentarios profesorado: Los números cuánticos son valores enteros o semienteros que identifican el estado de un sistema físico tal como un átomo, un núcleo o una partícula subatómica. Los principales números cuánticos para los electrones confinados en un átomo indican la energía del estado y la probabilidad de encontrar los electrones a diferentes distancias del núcleo.

Número cuántico principal (n): especifica la energía del orbital en el que se encuentra el electrón. El valor de n de incrementa desde su valor más bajo, $n=1$ hasta valores permitidos $n = 2,3,4,\dots$ de manera que la energía de los correspondientes orbitales también se incrementa. Los orbitales atómicos son designados por una combinación de números y letras que representan propiedades específicas de los electrones asociados con los orbitales. Un electrón 1s ocupa el nivel de energía más cercano al núcleo. Las letras s, p, d, f designan la forma del orbital.

Número cuántico orbita (l): es un número asociado con los estados de energía del átomo. En contraste con la mecánica clásica donde la órbita de un electrón asumiría valores continuos, el momento angular cuántico esta cuantizado, es decir, toma valores discretos. Si el número cuántico n define los niveles de los electrones, el número l divide cada nivel en n subniveles consistente de electrones con el mismo número cuántico principal.

Número cuántico magnético (m): es un número asociado con el momento angular del estado cuántico. Para un número cuántico de momento orbital l existe $2l+1$ número cuánticos magnéticos enteros m que van desde -l hasta l.

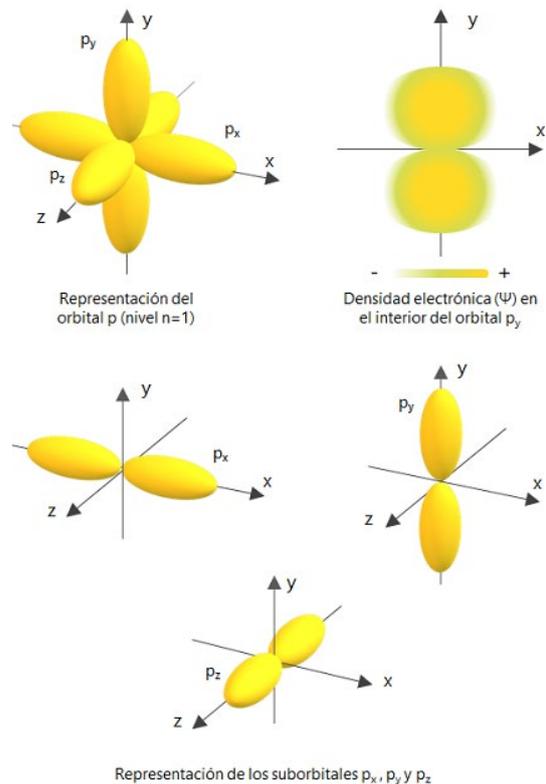
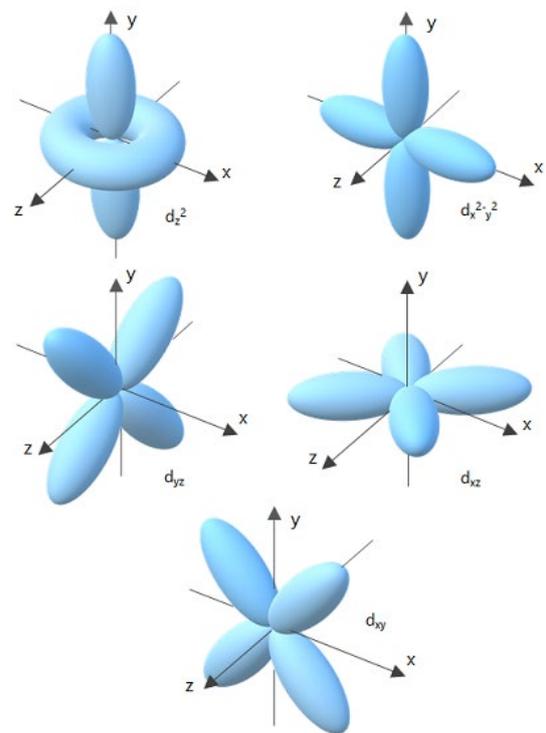


Imagen 25 Orbitales P.

Fuente: <https://www.quimicas.net/2015/05/los-orbitales-atomicos.html>



Representación de los suborbitales d

Imagen 26 Orbitales d.

Fuente: <https://www.quimicas.net/2015/05/los-orbitales-atomicos.html>



Como ves, este nuevo hallazgo, confronta la idea de un electrón que gira sobre su eje con la descripción del electrón como un objeto cuántico.



El electrón no es una esferita o partícula clásica y, por tanto, el espín es una propiedad intrínseca de las partículas, como la masa y la carga. De acuerdo a la mecánica cuántica, un electrón posee dos estados de espín, que se representan por las flechas hacia arriba o hacia abajo. Los únicos valores que puede tomar m_s son dos, iguales y opuestos: $+1/2$ y $-1/2$. Estos valores no dependen de los valores de n , l o m . Si dos electrones tienen el mismo valor de m_s , se dice que tienen los espín paralelos. Si los valores de m_s difieren, se dice que están apareados. Es una propiedad que tienen todas las partículas y que permite clasificarlas en dos tipos: los fermiones con espín semientero ($s = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \dots$), como e , p , n o los núcleos de A impar y bosones, con espín entero ($s = 0, 1, 2, \dots$), como los fotones o núcleos de A par.

Comentarios profesorado: es necesario que se justifique la introducción del espín, para la explicación del número de electrones en cada nivel y en consecuencia del sistema periódico (Solbes y Sinarcas, 2010). Por otra parte, la historia de la ciencia, nuevamente puede ser un excelente recurso didáctico en el sentido de explicarle al estudiante el origen de la palabra espín y cómo esta palabra ha generado errores conceptuales, en este aspecto se puede partir de la biografía de Wolfgang Pauli.



¿Qué implicaciones tiene este principio en la distribución electrónica?



Comentarios profesorado: En el desarrollo de los ejercicios de distribución electrónica en química, se acostumbra a graficar en cuadros o en círculos los orbitales atómicos, teniendo en cuenta los desarrollos anteriores, es importante trabajar con el estudiante que estas abstracciones pueden ser necesarias, pero que es necesario comprender también sus limitaciones; es mejor que utilicen $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^{10} 5p^6 6s^2 4f^{14} 5d^{10} 6p^6 7s^2 5f^{14} 6d^{10} 7p^6$ ya que el método de los cuadros o círculos recuerda al "orbital estantería" mencionado anteriormente.



Compara el enunciado anterior con el esquema para la distribución electrónica.

Desarrolla la distribución electrónica del sodio $\text{Na} = 11$ y explica ahí la información sobre la distribución de los electrones.

Ubica en la tabla periódica las zonas y las regiones.
¿Qué conclusiones puedes hacer de esta relación?



Comentarios profesorado: Permite interpretar las semejanzas en las propiedades químicas de los elementos de un mismo grupo (o columna), ya que todos sus elementos tienen el mismo número de electrones en su última capa. Por ejemplo, en la 1ª columna (grupo de los alcalinos o del litio (Li)) todos los elementos tienen un electrón en la última capa que ceden fácilmente; en la penúltima columna (grupo de los halógenos o del flúor (F)) a todos les falta un electrón para completar la última capa y, por tanto, tienden a capturarlo. Los elementos de la última columna (los gases nobles) tienen capa completa y por tanto son muy estables, poco reactivos. También, pueden justificar la longitud de los periodos (o filas), a partir del número de electrones que completan cada capa: 2, 8, 8, 18, 18, 32... La explicación de la tabla periódica se ha considerado como uno de los mayores éxitos de la TC.

Pauling, un destacable químico que además de ganar el Premio Nobel de Química en 1954 por sus trabajos en torno a la naturaleza de los enlaces químicos y su aplicación a la estructura de sustancias complejas, recibió el Premio Nobel de la Paz en 1962, en reconocimiento por sus esfuerzos por buscar un tratado de proscripción de pruebas nucleares. “la única política sensata para el mundo es la de eliminar la guerra” (Pauling en su discurso de aceptación del premio Nobel de la Paz 1962). Pauling desarrolló un método para calcular las electronegatividades relativas de la mayoría de los elementos. La electronegatividad de un elemento es una medida de la tendencia de un átomo a atraer los electrones del enlace cuando está químicamente combinado con otro átomo. Los elementos con electronegatividad alta tienen más tendencia para atraer los electrones del enlace que los elementos con electronegatividad baja. La electronegatividad de un elemento se mide respecto de la del otro elemento (es un concepto relativo).



¿Cuál es el elemento más electronegativo de la tabla periódica? ¿Puedes relacionar esto con su estructura? Realiza la misma confrontación con el francio (Fr).

Con base en el anterior, representa la distribución electrónica del nitrógeno (N).



Tuviste dificultad con el nitrógeno, en $2p^3$, pareciera que se pudieran presentar al menos dos posibilidades, pero ¿Cuál de las dos es la correcta? Pues bien, la Regla de Hund, que se puede aplicar a átomos, iones o moléculas, y que establece que: los electrones ocupan los orbitales de un subnivel dado en forma individual, antes que se inicie el apareamiento.



“

Dicho de otro modo. La distribución más estable de electrones en los subniveles será aquella que tenga el mayor número de espines paralelos.

”



Con base en lo anterior, evalúa el ejercicio realizado. Ahora podrías realizar cualquier distribución electrónica, que tal el fósforo (P) y cloro (Cl).



La regla de Hund, está probablemente asociada con los efectos de repulsión entre los electrones. Hay mayor repulsión electrónica cuando los dos electrones configuran el mismo orbital que cuando están en orbitales separados.

Comentarios profesorado: los ejercicios planteados para trabajar desde la distribución electrónica hacia la comprensión del ordenamiento periódico, permiten no solo la relación que es consecuente entre la estructura atómica y la tabla periódica, sino que confiere al estudiante sentido del ordenamiento periódico, se propone que los estudiantes manejen tanto la tabla periódica como esquemas que le permitan relacionar las propiedades de los elementos por periodos y por grupos.

En la etapa final de la secuencia, es necesario retomar los puntos clave de los conceptos que se ha desarrollado. De igual manera, es el espacio para estructurar las aplicaciones de la mecánica cuántica y con el fin de generar un cierre y a la vez una retroalimentación se propone realizar una feria con tres escenarios distintos:

- Un primer escenario que puede ser a manera de póster, donde se ubique un álbum fotográfico de los ganadores del Premio Nobel referenciados en el desarrollo de la unidad.
- Teniendo en cuenta que se creó un correo electrónico en el que los estudiantes escribían una misiva, se realiza la exposición de las respuestas que se hicieron a dichas inquietudes, para ello con la ayuda de los estudiantes se realiza las personificaciones.
- Los estudiantes podrían realizar stand en el que se presenten aplicaciones tecnológicas de todo el proceso relacionado con la EAM, algunos de ellos podrían ser avisos luminosos, láser entre otras.

Autoevaluación

Al finalizar el capítulo, es importante detenernos a pensar en el trabajo que hicimos, para ello, te invito a desarrollar una autoevaluación muy sencilla:

Elementos de evaluación	Plenamente	Parcialmente	No lo hice
Desarrollé las actividades propuestas			
Participé de las actividades en grupo			
Leí el desarrollo de la temática			

Referencias

- Adúriz-Bravo, A. y Izquierdo, M. (2002). Acerca de la didáctica de las ciencias como disciplina autónoma. *Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*, 1(3), 130-140.
- Aliberas, J. (2006). ¿Qué conocimiento científico enseñar en la escuela obligatoria? *Aula de Innovación Educativa*, 150, 14-18.
- Álvarez, M., Nuño, T. y Pérez, U. (2006). Utilización didáctica de la historia de las ciencias: mujeres en ciencia nuclear. *Tecné Episteme Y Didaxis: TED*, (20), 42-61. <https://doi.org/10.17227/ted.num20-1060>
- Anderson, T. & Shattuck, J. (2012). Design based research: A decade of progress in education research? *Educational Researcher*, 41(1), 16–25.
- Armstrong, H. (1996). Introducción a la filosofía antigua. Eudeba. http://www.sagradocorazon.edu.ar/web/sexta_elect_a/Filosofia/IntroFilosofiaAntigua.pdf
- Barberà, E. (2006). Los fundamentos teóricos de la tutoría presencial y en línea: una perspectiva socio-constructivista. *Educación en Red y Tutoría en Línea*, 151-168.
- Balibar, F. y Lévy-Leblond, J. M. (1984). Voulez-vous apprendre quantique? *Sciences et Avenir* (46), 88-92.
- Caamaño, A.; Irazoque, G. (2009). La enseñanza y el aprendizaje de la terminología química: Magnitudes y símbolos. *Educa- ció Química (EduQ)*, 3, 46-55.
- Camejo, C. A. C. y Molina, P. P. R. (2007). Las tendencias de la Didáctica de las Ciencias Naturales en el Siglo XXI. *Varona*, (44), 34-41.
- Cano, M. (2009). Elemento, sustancia simple y átomo: tres conceptos problemáticos en la enseñanza y aprendizaje significativo de conceptos químicos. *Revista Educación y Pedagogía*, 17(43), 177-193.
- Calderón Uribe, M. Otálora Gallego, D. M., Guerra Báez, S. P., y Medina Giraldo, E. D. (2018). Reflexiones sobre la convivencia escolar y la práctica del Mindfulness. *Estudios*

pedagógicos (Valdivia), 44(3), 303-316.
<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07052018000300303>

- Confrey, J. (2006). The evolution of design studies as methodology. En R. Keith Sawyer (Ed.), *The Cambridge handbook of the learning sciences* (pp. 135-152). Cambridge University Press.
- Castro Sánchez, A. y Ramírez Gómez, R. (2013). Enseñanza de las ciencias naturales para el desarrollo de competencias científicas. *Amazonia Investiga*, 2(3), 30-53.
<https://amazoniainvestiga.info/index.php/amazonia/article/view/646>
- Castrillón, J., Freire, O. y Rodríguez, B. (2014). Mecánica cuántica fundamental, una propuesta didáctica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 36(1), 1-12.
- Chamizo, J.A. (2005). Hacia una cultura química. *Ciencia*, (56), 6-16.
- Cohen, R., & Yarden, A. (2010). How the Curriculum Guideline "The Cell Is to Be Studied Longitudinally" Is Expressed in Six Israeli Junior-High-School Textbooks. *Journal of Science Education and Technology*, 19(3), 276-292.
- Coll, C. (1991). *Psicología y currículum*. Buenos Aires: Paidós.
- Design-Based Research Collective. (2003). Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5-8.
- Domènech, J. L., Martínez Torregrosa, J. y Savall, F. (2013). ¿Los modelos atómicos de Thomson y Rutherford que se presentan habitualmente en las clases se corresponden con sus aportaciones? *Enseñanza de las Ciencias*, 31(1), 29-43.
- Easterday, M. W., Lewis, D. R., y Gerber, E. M. (2014). *Design-based research process: Problems, phases, and applications*. Boulder, CO: International Society of the Learning Sciences.
- Fanaro, M. (2009). *La enseñanza de la Mecánica Cuántica en la Escuela Media*. [Tesis Doctoral]. Universidad de Burgos, Burgos, España.
- Fanaro, M., Arlego, M. y Otero, M. R. (2007). El método de caminos múltiples de Feynman como referencia para introducir los conceptos fundamentales de la Mecánica Cuántica en la escuela secundaria. *Caderno brasileiro de Ensino de Física*, 24(2), 233-60.
- Fernández, P., González, E. y Solbes, J. (1997). La inclusión de temas actuales de física en el polimodal. *Educación en Ciencias*, 1(3), 5-10.
- Feynman, R. (1971). *Física 1. Mecánica, radiación y calor*. México: Addison Wesley Longman.
- Fischler, H. y Lichtfeldt, M. (1992). Modern Physics and Students' Conceptions. *International Journal of Science Education*, 14(2), 181-190.
- Gadamer, H. (2001). *El inicio de la sabiduría*. Barcelona: Paidós.

- Gallego, R., Gallego, A., Pérez, R. y Figueroa, R. (2013). Historia Social de la Educación en ciencias e historia social de las ciencias. Segunda mitad del Siglo XX: Una contrastación. *Ciência e educação (Bauru)*, 19(4), 995-1012.
- Greca, I. y Moreira, M. A. (2004). Sobre cambio conceptual, obstáculos representacionales, modelos mentales, esquemas de asimilación y campos conceptuales. Porto Alegre: Universidad Federal do Rio Grande do Sul.
- Gomes de Abreu, R. D., Gomes, M. M., y Lopes, A. C. (2005). Contextualização e tecnologias em livros didáticos de biología e química. *Investigações em Ensino de Ciências*, 10(3), 405-417.
- González, E. M., Muñoz Burbano, Z. E. y Solbes, J. (2020). La enseñanza de la física cuántica: una comparativa de tres países. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 15(2), 239-250.
- Guisasola, J., Gutierrez-Berraondo, J., Zuza, K. y Ametller, J. (2017). Desarrollo iterativo de una secuencia de enseñanza/aprendizaje sobre el principio generalizado de trabajo y energía en cursos de física general universitaria. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, n.º Extra, 1691-1696.
- Hernández, C. (2005). ¿ Qué son las competencias científicas. *Foro Educativo Nacional*, 1-30.
- Ibáñez, M. y Ramos, M. C. (2004). Physics Textbooks Presentation of the Energy-Conservation Principle in Hydrodynamics. *Journal of Science Education and Technology*, 13(2), 267-76.
- Johnston, I., Crawford, K. y Fletcher, P. (1998). Student difficulties in learning quantum mechanics. *International Journal of Science Education*, 20(4), 427-46.
- Jonnaert, P. (2001). Competencias y socioconstructivismo. Nuevas referencias para los programas de estudios. https://www.academia.edu/8854861/Competencias_y_socioconstructivismo_Nuevas_referencias_para_los_programas_de_estudios_1
- Kalkanis, G., Hadzidaki, P. y Stavrou, D. (2003). An instructional model for a radical conceptual change towards quantum mechanics concepts. *Science Education*, 87(2), 257-280.
- Lederman, L. M., y Teresi, D. (1996). *La partícula divina*. Grijalbo.
- Lévy-Leblond, J. M. (2002). *Conceptos contrarios o el oficio de científico*. Barcelona. Tusquets.
- Lévy-Leblond, J. M. (2003). On the Nature of Quantons. *Science & Education*, 12(5-6), 495-502.
- Ley 115 de 1994. (1994). Ministerio de Educación Nacional. Bogotá.
- Lima, N., Ostermann, F. y Cavalcanti, C. J. H. (2017). Física Quântica no ensino médio: uma análise bakhtiniana de enunciados em livros didáticos de Física aprovados no PNLDEM2015. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 34(2), 435-459.
- Lombardi, O. y Martínez J. C. (2012) Entre mecánica cuántica y estructuras químicas: ¿a qué refiere la química cuántica? *Scientle studia*, 10(4), 649-670.

- Lozano, O. R. y Solbes, J. (2014). 85 experimentos de física cotidiana. Barcelona: Grao.
- Martínez, J. (2002). Políticas del libro escolar. Madrid: Ediciones Morata.
- Ministerio de Educación Nacional de Colombia, (2000). Lineamientos Curriculares para Ciencias Naturales y Educación Ambiental. Bogotá. Ministerio de Educación Nacional.
- Ministerio de Educación Nacional, (2006). Estándares Básicos de Competencias. Guía de lo que los estudiantes deben saber y saber hacer con lo que aprenden. Bogotá. Ministerio de Educación Nacional.
- Ministerio de Educación Nacional de Colombia. (2016). Derechos Básicos de Aprendizaje. Ciencias Naturales. Bogotá. Ministerio de Educación.
- Martínez-Chavanz, R. (2004). La recepción de la física moderna en Colombia. Saber y tiempo; publicación de la Asociación Biblioteca José Babini, 18, 41-71.
- Martínez-Chavanz, R. (2005). La recepción de la relatividad en Colombia. Conferencia pronunciada en el Simposio Internacional Einstein: Científico, filósofo y humanista. Centenario de una visión
- Moreno, L. (2018). Los modelos atómicos en los libros de texto, *Alambique, Didáctica de las ciencias experimentales*, (93), 18-25.
- Muñoz, Z. (2018). Quiebres epistemológicos para la enseñanza de la teoría cuántica. *Revista Historia De La Educación Colombiana*, 21(21), 79-97.
- Muñoz Burbano, Z. E. (2020). Enseñanza de la estructura atómica de la materia en la educación secundaria en Colombia. [Tesis de doctorado, Universidad de Nariño – Universidad de Valencia]. Roderic.
- Muñoz Burbano, Z. E., Solbes, J. y Ramos, G. E. (2020). Análisis de la enseñanza de conceptos cuánticos en la unidad de "Estructura atómica de la materia" en libros de texto. *Praxis & Saber*. 11 (27), e 10754.
- Niaz, M., Klassen, B., McMillan y D. Metz (2010). Reconstruction of the history of the photoelectric effect and its implications for general physics textbooks. *Science Education*, 94, 903-931.
- Nieveen, N. (2009). Formative evaluation in educational design research. In T. Plomp y N. Nieveen. (Eds.). *An introduction to educational design research* (pp. 89–101). Enschede: SLO.
- Olsen, R. V. (2002). Introducing quantum mechanics in the upper secondary school: a study in Norway. *International Journal of Science Education*, 24, 565–574.
- Ostermann, F. y Ricci, T. (2004). Conceitos de Física Quântica na formação de professores: relato de uma experiência didática centrada no uso de experimentos virtuais. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 22, 09-35.

- Otero, M., Fanaro, M. y Arlego, M. (2009). Investigación y desarrollo de propuestas didácticas para la enseñanza de la Física en la Escuela Secundaria: Nociones Cuánticas. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 4(1), 58-74.
- Paty, P. y Martínez-Chavanz, R. (2004). Formación y desarrollo de la cultura científica en Colombia: la física de 1880 a 1940. En L. C. Arboleda, y M. Paty. (Eds.), *Formación de Cultura Científica en Colombia. Ensayos sobre Matemáticas y Física*, Instituto de Educación y Pedagogía (pp. 111-151). Editorial Universidad del Valle.
- Páez Vanegas, L., (2016). El libro de texto escolar y la tercera misión pedagógica alemana: Aportes a los procesos de enseñanza desde el diseño editorial en Colombia [Tesis de Maestría en Universidad Nacional de Colombia]. Bogotá.
- Prieto, T., España, E. y Martín, C. (2012). Algunas cuestiones relevantes en la enseñanza de las ciencias desde una perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad. *Eureka: Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(1), 71-77.
- Psillos, D., & Kariotoglou, P. (2016). *Iterative design of teaching- learning sequences: Introducing the science of materials in European schools*. Dordrecht, The Netherland: Springer.
- Quílez, J. (2006). Análisis de problemas de selectividad de equilibrio químico: errores y dificultades correspondientes a libros de texto, alumnos y profesores. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 219- 240.
- Quílez, J. (2009). Análisis de los errores que presentan los libros de texto universitarios de química general al tratar la energía libre de Gibbs. *Enseñanza de las Ciencias*, 27(3), 317-330.
- Rodríguez, B. A. (2013). ¿Por qué hacer ciencia (básica) en Colombia?: la vision muy personal de un "científico" colombiano. *Tecno. Lógicas*, 30, 9-15.
- Rozo, M., Walteros, A. y 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: TED*, (45), 191-206.
- Sacristán, G. (2005). El currículum: ¿Los contenidos de la enseñanza o un análisis de la práctica? En: J. Gimeno y A. I. Pérez. *Comprender y transformar la enseñanza*. Madrid: Morata.
- Savall F., Doménech J. L. y Martínez-Torregrosa J. (2013). La introducción del concepto de fotón en bachillerato. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 35(2), 1-14
- Silva, I. (2011). *Indeterminismo en la naturaleza y mecánica cuántica*. Editorial Universidad de Navarra.
- Sinarcas, V. y Solbes, J. (2013). Dificultades en el aprendizaje y la enseñanza de la física cuántica en el bachillerato. *Enseñanza de las ciencias*, 31(3), 9-25. DOI: 10.5565/rev/enscienv31n3.768.
- Sharma, S. (2014). Teaching probability: A socio-constructivist perspective. *Teaching Statistics*, 37(3), 78-84.

- Solarte, M. (2006). Los conceptos científicos presentados en los textos escolares: son consecuencia de la transposición didáctica. *Revista ieRed: Revista Electrónica de la Red de Investigación Educativa* [en línea], 1(4), 1-12.
- Solbes, J. (2018). El modelo cuántico del átomo: Dificultades de su comprensión y Propuestas para su enseñanza. *Alambique, Didáctica de las ciencias experimentales*, (93), 26-33.
- Solbes, J. (2013). Contribución de las cuestiones sociocientíficas al desarrollo del pensamiento crítico (II): Ejemplos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10(2), 171-181.
- Solbes, J. (2014). De cómo el átomo se convierte en 'real' y complejo y adquiere una estructura. *Educación Química*, 19, 18-25.
- Solbes, J. (2019). Cuestiones socio-científicas y pensamiento crítico: Una propuesta contra las pseudociencias. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 46, 81-99.
- Solbes, J., Burbano, Z. E. M., & Zambrano, G. E. R. (2019). Enseñanza de la estructura atómica de la materia en Colombia. *Revista Historia De La Educación Colombiana*, 22(22), 117-140.
- Solbes, J. y Sinarcas, V. (2009). Utilizando la historia de la ciencia en la enseñanza de los conceptos claves de la física cuántica. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 23, 123-151.
- Sinarcas, V. y Solbes, J. (2013). Dificultades en el aprendizaje y la enseñanza de la Física Cuántica en el bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 31(3), 9-25.
- Solbes, J. (1990). La crisis de la física clásica y el surgimiento de la moderna en la investigación didáctica. *Enseñanza de las Ciencias*, 8(2), 179-181.
- Solbes, J., Calatayud, M. L., Climent, J. B. y Navarro, J. (1987). Errores conceptuales en los modelos atómicos cuánticos. *Enseñanza de las Ciencias, Barcelona*, 5(3), 189-195.
- Solbes, J., Silvestre, V. y Furió, C. (2010). El desarrollo histórico de los modelos de átomo y enlace químico y sus implicaciones didácticas. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, (24), 83-105. Disponible en línea en: <http://roderic.uv.es/handle/10550/21173>.
- Solbes, J. y Sinarcas, V. (2010). Una propuesta para la enseñanza aprendizaje de la física cuántica basada en la investigación en didáctica de las ciencias. *Revista de enseñanza de la física*, 23(1-2), 57-85. <http://roderic.uv.es/handle/10550/35014>.
- Trna, J. & Trnova, E. (2014). Design based research as an innovation approach in the construction and evaluation of IBSME. In: *Proceedings of the Frontiers in Mathematics and Science Education Research Conference* (pp. 187–191). Famagusta, North Cyprus.
- Villaveces Cardoso, J. L. (2000). La enseñanza de la física a los cien años de la mecánica cuántica. *Momento*, (21), 1-6.

- Villaveces Cardoso, J. L. (2001). La enseñanza de la estructura de los átomos y las moléculas. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 9, 108-118.
- Villaveces Cardoso, J. L. (2000b). Química y Epistemología: una relación esquiva. *Revista colombiana de filosofía de la ciencia*, 1(2 y 3), 9-26.
- Vygotsky, L. S. (1979). The development of higher forms of attention in childhood. *Soviet Psychology*, 18(1), 67-115.
- Wertsch, J. V. (1993). *Voces de la mente. Un enfoque sociocultural para el estudio de la acción mediada*. Madrid: Aprendizaje/Visor.
- Zembylas, M. (2005). Three perspectives on linking the cognitive and emotional in science learning: Conceptual change, socio-constructivism and Poststructuralism. *Studies in Sciences Education*, 41, 91-115.

Los autores

Zulman Estela Muñoz Burbano

Licenciada en Química de la Universidad de Nariño, Docencia Universitaria en la Universidad Cooperativa de Colombia, Especialista en Docencia de la Química, Magister y Doctora en Ciencias de la Educación de la Universidad de Nariño y estudios de Doctorado en Didáctica de las Ciencias Experimentales en la Universitat de Valencia (España). Docente del programa de Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental y de la Maestría en Educación de la Universidad de Nariño. Investigadora del Grupo GIDEP en la línea de enseñanza de las ciencias. Interés investigativo: formación de profesores de ciencias naturales, enseñanza de física y química moderna en la educación secundaria.

Jordi Solbes Matarredona

Licenciado y Doctor en Físicas de la Universitat de València (España). Catedrático de Universidad de Didáctica de las Ciencias Experimentales en la Universitat de València. Investiga en los campos de: didáctica de la física; utilización de las relaciones CTS (Ciencia, Tecnología, Sociedad) e historia de las ciencias; pensamiento crítico y cuestiones sociocientíficas en la enseñanza de las ciencias; formación del profesorado de ciencias; neurociencias aplicadas a la educación científica. Profesor del Programa de doctorado "investigación en didáctica de las ciencias experimentales" y, master "investigación en didácticas específicas" de la Universitat de València, Coordina el Grupo de investigación en educación científica y formación del profesorado de ciencias - GIUV2013-175.

Gustavo Adolfo Marmolejo Avenia

Licenciado en Matemáticas-Física, de la Universidad del Valle. Especialista y magister de la Universidad del Valle (Colombia), Doctor en Educación Matemática de la Universidad de Salamanca (España). Docente de los programas de Licenciatura en Matemáticas y de Doctorado en Ciencias de la Educación, de la Universidad de Nariño (Colombia); Programa de Maestría en Educación (énfasis en educación matemática), del Instituto de Educación y Pedagogía de la Universidad del Valle. Coordinador de la Maestría en Educación Matemática de la Universidad de Nariño y del grupo de investigación GESCAS. Como interés investigativo asume la comunicación, transformación y objetivación de conocimientos y saberes geométricos-métricos.

Germán Ramos Zambrano

Físico de la Universidad de Nariño, realizó estudios de maestría y doctorado en el Instituto de Física Teórica de la Universidade Estadual Paulista en Sao Paulo-Brasil. Actualmente, es docente del programa de Física de la Universidad de Nariño, asimismo, investigador del Grupo de Altas Energías. Como interés investigativo asume teoría clásica de campos y teoría cuántica de campos a temperatura cero y temperatura finita.

Índice de imágenes

Imagen 1 Estándares Básicos de Competencias	15
Imagen 2 Estándares relacionados con la Teoría Cuántica. Tomadas de Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales	16
Imagen 3 Mapa Conceptual sobre la Unidad de Estructura de la Materia (Mondragon et. alt, 2005).....	20
Imagen 4 Presentación de las relaciones de Indeterminación en Mondragon et.alt (2005).....	21
Imagen 5 Objetos Macro y microscópicos	24
Imagen 6 Fenómenos Ondulatorios.....	25
Imagen 7 Max Plank. Considerado el Padre de la Teoría Cuántica.	26
Imagen 8 Representación del efecto foto-eléctrico (construcción propia).	27
Imagen 9 Conferencia de Solvay 1927	28
Imagen 10 Aporte de la Investigación Basada en el Diseño.....	30
Imagen 11 Representación del Socio-constructivismo.....	31
Imagen 12 Representación del Socio-constructivismo.....	32
Imagen 13 Representación de las temáticas desarrolladas en la Secuencia.....	40
Imagen 14. Tabla Periódica de Mendeléyev.	57
Imagen 15. Tabla Periódica de elementos.	59
Imagen 16 Fotografía De cómo el átomo se convierte en 'real' y complejo y adquiere una estructura Solbes (2014).	59
Imagen 17 Imagen del Modelo Atómico de Thomson.....	62
Imagen 18 Espectros Atómicos.....	68
Imagen 19 Espectroscopio casero.....	69
Imagen 20. Reanura de observación, espectroscopio casero.....	69
Imagen 21 Rejilla de Difracción con elaborada con CD.....	69
Imagen 22 Series espectrales.....	70
Imagen 23 Frases de análisis.	75
Imagen 24 Orbital S.	79
Imagen 25 Orbitales P.	80
Imagen 26 Orbitales d.	80

Índice de tablas

Tabla 1 Herramienta para discriminar conocimientos previos.	36
Tabla 2 Objetivos de la secuencia de enseñanza aprendizaje.	36
Tabla 3 Actividades consideradas en la secuencia de enseñanza aprendizaje (Muñoz Burbano, 2020).	39
Tabla 4 Actividades discriminadas por corredor conceptual.	39



Editorial
Universidad de **Nariño**

Fecha de publicación: noviembre de 2022
San Juan de Pasto - Nariño - Colombia



El libro aporta elementos conceptuales para la enseñanza de la estructura atómica de la materia en la educación secundaria en particular, la adopción de este enfoque cuántico para la enseñanza de la estructura de la materia en el contexto de la escuela secundaria colombiana, hace de este libro una propuesta innovadora y de gran interés tanto para investigadores de la Enseñanza de las Ciencias como para los educadores, profesores de Química y de Física de la escuela secundaria.

El texto se ha diseñado en tres partes: la primera, se justifica la propuesta de enseñanza desde la base conceptual de la Teoría Cuántica en la Educación Secundaria abordando en especial el quiebre epistemológico que implica la crisis de la ciencia clásica y el advenimiento de la teoría Cuántica. De igual manera, se presenta un análisis a la manera como se aborda esta temática en libros de texto.

En la segunda parte, se presenta la secuencia de enseñanza desde el contexto de la investigación basada en el diseño, como una alternativa que justifica la secuencias desde el contexto en el que se trabaja y desde los elementos teóricos, epistemológicos e históricos que representa.

En la tercera parte, se presentan las actividades de enseñanza-aprendizaje, diseñadas de manera general y amplia para ser adaptadas al razonamiento de los estudiantes. Uno de los elementos importantes de esta tercera parte, lo constituyen las orientaciones al profesor que son explicaciones detalladas para que pueda orientar el trabajo con la secuencia en el aula de clases y profundizar elementos teóricos fundamentales. Se describe igualmente, las actividades prácticas con materiales de fácil acceso para garantizar que se puedan desarrollar en cualquier contexto.

Finalmente, el libro tiene doble propósito: justificar la enseñanza de la estructura atómica de la materia y presentar una secuencia que facilite el desarrollo de esta temática en la educación secundaria.



Universidad de Nariño
FUNDADA EN 1904



ACREDITADA DE ALTA CALIDAD
RESOLUCIÓN MEN 10567 – MAYO 23 DE 2017

Editorial
Universidad de Nariño