



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
MAESTRÍA EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR  
FÍSICA

**PROPUESTA DIDÁCTICA PARA LA ENSEÑANZA DE LOS CONCEPTOS BÁSICOS DE LA FÍSICA  
CUÁNTICA EN EL BACHILLERATO**

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR

PRESENTA: MA. DE LOURDES IÑIGUEZ ANDRADE

TUTORA: DRA. MIRNA VILLAVICENCIO TORRES  
FACULTAD DE CIENCIAS

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., OCTUBRE DE 2019



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Tabla de contenido

<b>RESUMEN</b> .....	4
<b>ABSTRACT</b> .....	5
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	6
<b>II. LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR EN MÉXICO</b> .....	9
II.1. Antecedentes .....	9
II.2. Orientación educativa del bachillerato de la UNAM. ....	10
II.3. La filosofía del Colegio de Ciencias y Humanidades .....	13
II.4. Plan curricular del Área de Ciencias Experimentales y los cursos de Física en el CCH .....	15
<b>III. DIDÁCTICA DE LA ENSEÑANZA EN LA MATERIA DE FÍSICA</b> .....	20
III.1. Didáctica de las ciencias .....	20
III.2. La naturaleza del proceso de enseñanza - aprendizaje .....	22
III.3. Enseñanza de la Física desde una perspectiva constructivista .....	25
<b>IV. DELIMITACIÓN DEL TEMA DE ESTUDIO</b> .....	26
IV.1. Ubicación.....	26
IV.2. Los problemas con la enseñanza de la Física en el bachillerato .....	27
IV.3. Planteamiento del problema .....	30
IV.4. Hipótesis.....	31
<b>V. PROPUESTA DIDÁCTICA</b> .....	32
V.1. El constructivismo .....	32
V.2. La investigación dirigida .....	35
V.3. La propuesta didáctica .....	36
V.3.1. La construcción de la propuesta.....	36
V.3.2. El uso de internet.....	39
V.3.4. Las ideas previas o preconcepciones de los alumnos. ....	40
V.3.5. Estrategias de evaluación y de apoyo para el aprendizaje. ....	41
<b>VI. CONTENIDOS DISCIPLINARES DE LA PROPUESTA DIDÁCTICA</b> .....	44
VI.1. Antecedentes históricos y desarrollo de contenidos .....	44
VI.2. El espectro de la radiación de cuerpos incandescentes. El problema del cuerpo negro .....	47
VI.3. Los espectros atómicos .....	54
VI.4. El efecto fotoeléctrico .....	56
VI.5. Dualidad onda partícula. Hipótesis de De Broglie .....	60
<b>VII. SECUENCIAS DIDÁCTICAS</b> .....	65

<b>VII.1. Tema 1. Radiación de cuerpos incandescentes. Radiación de cuerpo negro</b>	<b>65</b>
<b>VII.2. Tema 2. Estructura de la materia</b>	<b>78</b>
<b>VII.3. Tema 3. Interacción radiación materia. Efecto fotoeléctrico</b>	<b>87</b>
<b>VII.4. Tema 4. Interacción de la radiación con la materia</b>	<b>96</b>
<b>VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>104</b>
<b>IX. CONCLUSIONES</b>	<b>113</b>
<b>X. REFERENCIAS DOCUMENTALES</b>	<b>116</b>

## RESUMEN

En este trabajo de Tesis se presenta la implementación de una serie de secuencias didácticas, diseñadas bajo un enfoque constructivista, que tienen por objetivo fortalecer la enseñanza de la física cuántica en la educación media superior. Dado que el entendimiento de los conceptos fundamentales de radiación electromagnética y la interacción de ésta con la materia es fundamental no sólo para el estudiante interesado en la Física sino inclusive para el público en general, debido a sus innumerables aplicaciones en muy diversas áreas del conocimiento y en el desarrollo tecnológico, algunos tópicos de física cuántica han sido incluidos en los programas oficiales de las asignaturas de física del bachillerato. En particular, este trabajo está centrado en discutir la relación que existe entre el electromagnetismo y los orígenes de la Física Cuántica.

Las secuencias didácticas que se proponen pretenden mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje de conceptos como: radiación electromagnética, espectro electromagnético, dualidad onda-partícula, estructura de la materia y modelo atómico de Bohr. Tomando en cuenta la importancia de las actividades experimentales como un recurso didáctico que ayuda al estudiante a comprender los conceptos, sobre todo aquellos con un alto grado de abstracción, las secuencias didácticas incluyen este tipo de actividades que no sólo permiten al estudiante observar directamente los fenómenos de radiación de cuerpo negro, efecto fotoeléctrico, difracción de electrones, espectro de emisión y absorción; sino también discutir sus aplicaciones en el desarrollo de la tecnología que está a su alcance. También se incluye el uso de las Tecnologías de la información y la Comunicación al utilizar algunas aplicaciones y simulaciones por computadora.

Estas secuencias fueron implementadas en dos grupos del Colegio de Ciencias y Humanidades, obteniendo mejores resultados en la comprensión de los conceptos físicos involucrados que cuando se trabaja este tema utilizando la enseñanza tradicional.

## **ABSTRACT**

The purpose of this thesis is to implement didactic sequences based on the constructivism approach to strengthen the teaching of quantum physics, paying special attention to the quantum theory of radiation at high school education. Due to the importance of understanding the concept of radiation because of its countless applications in many knowledge areas and technological developments not just by the student interested in physics but by the general public, this work is focused on electromagnetism and the origin of Quantum Physics. Therefore, these didactic sequences are designed to improve the teaching - learning process of topics like electromagnetic radiation, electromagnetic spectrum, wave-particle duality, the structure of matter and Niels Bohr is atomic model, taking into account the importance of experimental activities as a resource to facilitate the understanding of abstract and difficult concepts by the students. These activities allow the student not only to observe the phenomena like black body radiation, photoelectric effect, electron diffraction, and emission and absorption spectra but to discuss their possible application in the development of technology within his grasp. Furthermore, the sequences enable information and communication technology with the use of computer applications and simulations. Finally, the didactic sequences were implemented by two CCH student groups having, as a result, a better understanding and learning process of physics concepts that when using the traditional teaching techniques.

# I. INTRODUCCIÓN

La propuesta de este trabajo surge al observar, durante años de práctica docente, las dificultades que tienen los estudiantes de bachillerato para entender los conceptos, leyes y principios que dieron origen a la física cuántica.

Desde que la enseñanza de este tema se introdujo en el currículum de la educación media superior se ha detectado la existencia de dificultades no superadas que siguen persistiendo. Estas dificultades surgen debido a diferentes factores:

- La visión de la ciencia y de los modelos de enseñanza-aprendizaje que los profesores ponen en práctica en el salón de clase.
- Las dificultades que presenta el entendimiento de los contenidos, incluyendo también a los libros de texto y los medios de los que disponen el profesor y el alumno en el salón de clase.
- Los conceptos involucrados requieren de un nivel de abstracción que en algunos casos no ha alcanzado el alumno de bachillerato.
- La estructura de los contenidos en los programas de estudio da una orientación muy lineal y poco coherente, en lo que se refiere a los objetivos de la unidad, aprendizajes, temática y estrategias de enseñanza.

En la búsqueda de resolver algunos de estos problemas, este trabajo se centra en discutir la relación que existe entre el electromagnetismo y el origen de la física cuántica, aplicando un modelo de enseñanza–aprendizaje basado en la orientación constructivista formulada por Driver (1986) y en un enfoque de la enseñanza de la ciencia como un proceso de investigación dirigida.

Se propone la realización de actividades experimentales y en algunos casos el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) para representar los fenómenos de la física cuántica que no son perceptibles a nuestros sentidos, o que no se pueden observar con el equipo que se encuentra en los laboratorios curriculares de bachillerato.

La estructura de contenidos para esta propuesta didáctica se fundamenta principalmente en explicar los mecanismos mediante los cuales la radiación electromagnética puede ser absorbida o emitida por la materia.

Los puntos por tratar son tres:

1. El tema de radiación electromagnética  
Se realizará a manera de introducción mediante un análisis de las principales características de la radiación y las dificultades para explicar algunos fenómenos utilizando solamente la física clásica. Como ejemplo, se sugiere la radiación de cuerpos incandescentes y la explicación de Planck a la radiación de cuerpo negro.
2. La radiación electromagnética y la estructura de la materia.  
Se propone el uso del modelo atómico de Bohr para explicar los espectros atómicos de emisión y absorción con sus respectivas limitaciones.
3. En la interacción de la radiación con la materia y para introducir el concepto de dualidad onda partícula. Son dos los experimentos propuestos que permiten hablar de la crisis de la física clásica con respecto a la dualidad onda partícula: El efecto fotoeléctrico y el experimento de la difracción de electrones.

Esta Tesis consta de nueve capítulos y los anexos en los que se encuentra material de apoyo para el alumno y el profesor. El capítulo I es la introducción. El Capítulo II, trata de la educación media superior en México, en particular los propósitos y filosofía del Colegio de Ciencias y Humanidades. En el Capítulo III, se discute la didáctica de la física y su enseñanza desde una perspectiva constructivista. En el Capítulo IV, se delimita el tema de estudio "Propuesta didáctica para la enseñanza de los conceptos básicos de la física cuántica en el Bachillerato". Se plantean las preguntas a las que responde la investigación que son: ¿Se pueden introducir los conceptos básicos que dieron origen a la física cuántica mediante el análisis del tema de radiación y su interacción con la materia en el bachillerato?, ¿Se logra un aprendizaje significativo de la física utilizando la investigación dirigida y un modelo constructivista? Posteriormente, se indican los problemas en la enseñanza de la física, en general, y de la física cuántica en el bachillerato. El Capítulo V, se refiere a la propuesta didáctica donde se observa la construcción de la propuesta y los medios de los que se dispone para la evaluación de los aprendizajes. El Capítulo VI, presenta los contenidos disciplinares de la propuesta didáctica que incluye los antecedentes históricos y desarrollo de contenido. En el capítulo VII. se encuentran las secuencias didácticas divididas en cuatro temas:

1. La radiación electromagnética. Crisis de la física clásica "Radiación de cuerpo negro".



2. Radiación y estructura de la materia. “Modelo atómico de Bohr y espectros atómicos”.
3. Dualidad onda – partícula, interacción de la radiación con la materia. “Efecto fotoeléctrico.
4. Dualidad onda – partícula, interacción de la radiación con la materia. “Difracción de electrones”.

El Capítulo VIII contiene el análisis de resultados. El Capítulo IX son las conclusiones y en el Capítulo X, están las referencias documentales.

## II. LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR EN MÉXICO

### II.1. Antecedentes

La referencia que se tiene respecto al origen de la Educación Media Superior en México, es que surge en la época de la colonia, entre los años de 1537 a 1543, cuando se crearon el Colegio de Santa Cruz de Tlatelolco, el Colegio de San Juan de Letrán y el Colegio de Santa María de Todos los Santos, en dichos colegios se impartía una educación de nivel intermedio ubicada entre la educación elemental y la superior. A partir de ese entonces, la Educación Media Superior en México ha ido cambiando de acuerdo con los acontecimientos políticos y sociales de cada época, y, de acuerdo con las necesidades del país.

En 1551 se creó la Real y Pontificia Universidad de México, en la cual se impartía una formación propedéutica a los alumnos que aspiraban a cursar una licenciatura, y fue hasta 1833 que se crearon los estudios preparatorios con la fundación de la Dirección General de Instrucción Pública para el Distrito y Territorios de la Federación, en ese entonces, el estado era el responsable en la administración del servicio educativo.

En lo referente al Bachillerato tecnológico, en 1867 se crearon la Escuela Nacional Preparatoria, y en 1880 las Escuelas Técnicas de Agricultura y las de Artes y Oficios.

En 1921 se creó la Secretaría de Educación Pública, con el propósito de organizar y sistematizar la educación de México. En 1931 se creó la Preparatoria Técnica y el Instituto Politécnico Nacional (IPN). En 1971, bajo la rectoría de Pablo González Casanova, se crearon el Colegio de Ciencias y Humanidades en la UNAM. En 1973, por decreto presidencial, se constituyó al Colegio de Bachilleres como organismo descentralizado del Estado y en 1978 se creó el CONALEP (Consejo Nacional de Educación Técnica y Profesional), con el objetivo de vincular a la educación terminal con el sector productivo de bienes y servicios.

En 1982 se realizó el *Congreso Nacional de Bachillerato*, en el que se establecieron las líneas de acción en la educación media superior. En este Congreso se decidió la bivalencia del Bachillerato Tecnológico y se estableció un tronco común entre los 187 diferentes planes de estudio que había en ese momento.

El programa de Desarrollo Educativo de 1995–2000 planteó la generación de planes de estudio basados en competencias tanto en el IPN como en el CONALEP, así mismo,

también se estableció la aplicación del examen único de admisión a la educación media superior en la zona metropolitana de la Ciudad de México, el cual se aplicó por primera vez en 1996. Finalmente, en el año 2000, el Gobierno del Distrito Federal impulsó la creación del Sistema de Bachillerato del Gobierno de la Ciudad de México.

Actualmente, la Educación Media Superior en México se ha ido regulando de tal manera que los 300 diseños curriculares que se tenían hasta el 2008, se han reducido, gracias a la Reforma Integral de la Educación Media Superior (RIEMS), a aproximadamente 20 diseños curriculares en operación en todo el territorio mexicano. Las escuelas que imparten la Educación Media Superior se pueden agrupar en tres modalidades:

1. Bachillerato universitario, dependiente de las Universidades Autónomas de las entidades federativas que conforman la República Mexicana.
2. Bachillerato general, dependiente de la Dirección General del Bachillerato (DGB), de la Subsecretaría de Educación Superior e Investigación Científica (SESIC).
3. Bachillerato tecnológico, dependiente de la Subsecretaría de Educación e Investigación Tecnológicas (SEIT), que ofrece dos opciones simultáneas, ya que al mismo tiempo que prepara para continuar estudios superiores, proporciona una formación tecnológica orientada a la obtención de un título de técnico profesional.

## **II.2. Orientación educativa del bachillerato de la UNAM.**

Como se mencionó antes, la Escuela Nacional Preparatoria, fue creada en 1867, y una de las reformas más significativas al plan de estudios se realizó hasta enero de 1964. En esta reforma hubo un cambio programático con énfasis en la formación científica y el aumento de un año en la duración del ciclo escolar, la que pasó de dos a tres años.

Los objetivos del bachillerato se definieron de la siguiente manera:

1. *Desarrollo integral de las facultades del alumno para hacer de él un hombre cultivado.*
2. *Formación de una disciplina intelectual, que lo dote de un espíritu científico.*
3. *Formación de una cultura general que le dé una escala de valores.*

4. *Formación de una conciencia cívica que le defina sus deberes con su familia, frente a su país y frente a la humanidad.*
5. *Preparación especial para abordar una determinada carrera profesional.*

En 1971 se creó el Colegio de Ciencias y Humanidades como una propuesta novedosa que cumplía con las necesidades del país de aumentar la matrícula en la Educación Media Superior, debido a que la Escuela Nacional Preparatoria no alcanzaba a cubrir las expectativas sociales y políticas del momento. El Colegio de Ciencias y Humanidades surge como una propuesta para establecer un cambio en el modelo educativo.

Los autores del proyecto de creación del Colegio de Ciencias y Humanidades fueron el Dr. Pablo González Casanova y el Dr. Alfonso Bernal Sahagún y fue aprobado por el Consejo Universitario en su sesión del 26 de enero de 1971.

Sus objetivos generales fueron:

1. *Establecer un mecanismo permanente de innovación de la Universidad capaz de realizar funciones distintas sin tener que cambiar necesaria e inmediatamente toda la estructura universitaria, adaptando el sistema de los cambios y necesidades de la propia Universidad y del país.*
2. *Preparar jóvenes capaces de cursar estudios que vinculen las humanidades, las ciencias y las técnicas a nivel de bachillerato, de licenciatura, de maestría y de doctor.*
3. *Proporcionar nuevas oportunidades de estudio acordes con el desarrollo de las ciencias y las humanidades en el siglo XX y hacer flexibles los sistemas de enseñanza para formar especialistas y profesionales que puedan adaptarse a un mundo cambiante en el terreno de la ciencia, la técnica, las estructuras sociales, culturales y económicas.*
4. *Intensificar la interdisciplina entre especialistas, escuelas, facultades, centros e institutos de investigación de la Universidad.*
5. *Promover el mejor aprovechamiento de los recursos humanos y técnicos de la Universidad.*

Las cualidades del Colegio de Ciencias y Humanidades eran tres: *la flexibilidad del sistema, el énfasis en formar más que informar y la creación de una metodología adecuada para cumplir con sus fines.*

Desde 1971 hasta 1988, cuando se inició una reforma educativa, el Colegio de Ciencias y Humanidades conservó sus planes y programas de origen. La reforma educativa finalmente se logró con la implementación del Plan de Estudios Actualizado en 1996. Las razones más importantes para este cambio fueron:

- Precisar y difundir las concepciones que fundan el Bachillerato del Colegio, de manera que puedan efectivamente orientar al conjunto de su docencia.
- Incrementar el número de horas de trabajo en grupo escolar, con el fin de responder a las comprobadas necesidades de apoyo de los alumnos para lograr una progresiva autonomía en su aprendizaje.
- Fijar, en general, sesiones de 2 horas en todas las asignaturas, para facilitar el trabajo en taller, el desarrollo de habilidades y la participación de los alumnos.
- Definir los enfoques y las formas de trabajo predominantes en la enseñanza aprendizaje de cada área.
- Actualizar, seleccionar y reorganizar los contenidos —propósitos, objetivos específicos, temática— de los programas de todas las asignaturas y renovar sus enfoques disciplinarios y didácticos.

En esta actualización, se conservó la esencia de las concepciones de educación y de cultura, así como los enfoques disciplinarios y pedagógicos que derivan de la misión del Colegio. Puede decirse que el Colegio de Ciencias y Humanidades se caracteriza por ser:

- Un bachillerato con identidad propia cuya formulación “consiste en colaborar al desarrollo de la personalidad de los alumnos, adolescentes prácticamente en su totalidad, a fin de que alcance una primera maduración y, en consecuencia, su inserción satisfactoria en los estudios superiores y en la vida social”.
- Un bachillerato universitario que tiene por objeto que “el alumno [no solo] sepa, sino que sepa que sabe y por qué sabe, es decir, que sea capaz de darse cuenta de las razones y validez de su conocimiento y de los procesos de aprendizaje...”

- Un bachillerato de cultura<sup>1</sup> básica porque “es un bachillerato de fuentes y no de comentarios, puesto que se propone dotar al alumno de los conocimientos y habilidades que le permitan acceder por sí mismo a las fuentes del conocimiento y más en general, de la cultura; es decir, a la lectura de textos de todo tipo, a la experimentación y a la investigación de campo.
- Un bachillerato propedéutico general y único porque se orienta a la adquisición de la preparación necesaria para cursar con éxito estudios profesionales y cualquiera de ellos, característica que lo dota de una gran flexibilidad no indemne, de dificultades que deben superarse.

### **II.3. La filosofía del Colegio de Ciencias y Humanidades**

*“Desarrollo del alumno crítico que aprende a aprender, aprende a hacer y aprende a ser”*

Las orientaciones del quehacer educativo del colegio se sintetizan en:

*Aprender a Aprender.* El alumno será capaz de adquirir nuevos conocimientos por cuenta propia, por lo que, se apropiará de una autonomía congruente a su edad.

*Aprender a Hacer.* Los enfoques de enseñanza y procedimientos de trabajo promoverán el desarrollo de habilidades que permitirán a los estudiantes poner en práctica lo aprendido en el aula y en el laboratorio (aprender haciendo).

*Aprender a Ser.* Además de los conocimientos científicos e intelectuales se promoverá que los estudiantes adquieran valores humanos, particularmente éticos y cívicos.

*Alumno crítico.* Los estudiantes serán capaces de analizar y valorar los conocimientos adquiridos de forma tal que afirmen, cuestionen, o bien, propongan otros diferentes.

---

<sup>1</sup> *La cultura es todo acervo adquirido, aquello que el individuo posee como integrante de un grupo social y que caracteriza a éste; es el conjunto estructurado de valores, creencias, procesos, conocimientos, habilidades, actitudes y comportamientos, que atañe a los cambios científicos, tecnológicos y artísticos, económicos y políticos que se producen en la sociedad. De ello se deriva que no pueden separarse los elementos de la cultura que el individuo adquiere en su vida cotidiana, de aquéllos que puede apropiarse en la escuela. Los elementos culturales se desarrollan dentro y fuera del aula.*

Con esta orientación, se apunta a la capacidad de juzgar acerca de la validez de los conocimientos presentados constituyéndose en un sujeto de la cultura y del conocimiento científico con valores legítimamente adoptados (Colegio de Ciencias y Humanidades 2003).

La misión del Colegio de Ciencias y Humanidades tiene como propósitos:

1. *Promover en los alumnos el aprendizaje sistemático de conocimientos de la disciplina.*
2. *Propiciar que los alumnos apliquen en la práctica los conocimientos y formas de pensar científicos.*
3. *Dotar a los alumnos de una creciente autonomía intelectual, apoyar el desarrollo de habilidades de pensamiento y de capacidad para realizar aprendizajes independientes: aprender a aprender, aprender a hacer y aprender a ser.*
4. *Desarrollar los valores de responsabilidad social y de capacidad para incidir positivamente en su entorno.*

El Colegio de Ciencias y Humanidades se ha preocupado por capacitar a sus estudiantes en alguna profesión técnica, y aunque ésta es parte del Programa de Estudios Actualizado, se puede considerar como una opción técnica de estudios con la cual muchos jóvenes pueden tener un acercamiento a la carrera que deseen elegir; asimismo pueden obtener un certificado expedido por la UNAM que los acredita como técnicos profesionales en la opción técnica que hayan cursado.

El plan de estudios del Colegio de Ciencias y humanidades, a partir de 1996 está constituido en cuatro grandes áreas de conocimiento:

- *Matemáticas.* En esta área se enseña a los alumnos a percibir esta disciplina como ciencia en constante desarrollo que les permitirá la resolución de problemas. Se origina en la necesidad que tienen todas las personas de conocer y descubrir su entorno físico y social; así como desarrollar el rigor, la exactitud y la formalización para manejarlo.
- *Ciencias experimentales.* En la actualidad, el desarrollo de la ciencia y tecnología hacen necesaria la incorporación de estructuras y estrategias del pensamiento apropiadas a este hecho, en la forma de hacer y de pensar del estudiante, por ello

es importante que conozca y comprenda la información que diariamente se les presenta con características científicas, para que comprendan fenómenos naturales que ocurren en su entorno o en su propio organismo y con ello elaboren explicaciones racionales de estos fenómenos.

- *Histórico-social.* En esta área resulta fundamental que los alumnos analicen y comprendan problemas específicos del acontecer histórico de los procesos sociales del pensamiento filosófico cultural y la cultura universal.
- *Talleres de lenguaje y comunicación.* En esta área conocerán el uso consciente y adecuado del conocimiento reflexivo y de los sistemas simbólicos, buscando desarrollar la facultad de entenderlos y producirlos tanto en la lengua materna, la lengua extranjera (inglés o francés) y los sistemas de signos auditivos y visuales de nuestra sociedad.

La idea de organizar el plan de estudios por áreas se basó en el deseo de proporcionar una formación unitaria o integral más acorde con el proceso del conocimiento donde las distintas materias son manifestaciones de la cultura básica que la institución debe transmitir. A esta cultura contribuyen las asignaturas con aportaciones que le son específicas, o bien que comparten con las demás asignaturas de la misma área.

#### **II.4. Plan curricular del Área de Ciencias Experimentales y los cursos de Física en el Colegio de Ciencias y Humanidades**

El Área de Ciencias Experimentales está integrada por las materias de Química, Biología, Física, Ciencias de la Salud y Psicología; y tiene como objetivo proporcionar a los alumnos los elementos que los lleven a adquirir el conocimiento científico y tecnológico, que les permita interactuar con su entorno en forma más creativa, responsable, informada y crítica, además de capacitarlos para proseguir estudios superiores.

Las orientaciones del Área de Ciencias Experimentales son:

- *Imprimir en los cursos una orientación cultural, es decir, enfocarse a las habilidades intelectuales y a los conceptos básicos necesarios para abordar las ciencias experimentales y la aplicación de los conceptos y principios de estas disciplinas en su entorno, de manera que tenga una interpretación más científica, sistemática, creativa y responsable de la naturaleza que aquella que posee al ingresar al bachillerato.*



- *Promover que el estudiante conozca cómo se construye la relación Hombre-Ciencia-Naturaleza, en particular con la Física, de tal manera que dicha relación sea más armónica y responsable, enfatizando la interacción entre ciencia y Tecnología y entre medio ambiente y sociedad.*

En el marco conceptual del Área de Ciencias Experimentales se dice que la Ciencia<sup>2</sup> es parte integral de la cultura y la Física es una de sus ramas fundamentales, cuya validez se determina por medio de la experimentación y su conocimiento y uso permite comprender aspectos físicos de los fenómenos naturales.

En el ajuste a los programas de estudio realizado en 2016, se marcan algunas diferencias respecto a los programas de 2003 en especial para Física I y II. Estas diferencias son:

1. En su estructura da prioridad a los aprendizajes, contenidos temáticos y actividades sugeridas, articulando los contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales.
2. Las estrategias sugeridas contemplan una serie de preguntas con la intención de ir contestándolas conforme se van cubriendo los aprendizajes.
3. Los aprendizajes presentan un nivel cognitivo basado en la taxonomía de Bloom.
4. Las estrategias sugeridas en algunos casos incorporan el uso de las TIC.
5. Presenta bibliografía para alumnos y profesores añadiendo recursos electrónicos.
6. Se presenta una evaluación por cada unidad.

Para cumplir con lo anterior, en los cursos de Física I y II de acuerdo con la reforma a los programas de 2016, se sugiere:

Considerar las vivencias propias de los estudiantes y situaciones recreadas en el laboratorio, como fundamento de los aprendizajes de la disciplina, promoviendo su aplicación a procesos reales donde se requiera buscar, organizar e interpretar información que les ayude a formular hipótesis, experimentar, analizar resultados y establecer modelos para entender la naturaleza. También se requiere de promover aprendizajes de utilidad mediante el desarrollo de procesos mentales inductivos, deductivos y analógicos e incorporar elementos que involucren los avances científicos y tecnológicos actuales, para

---

<sup>2</sup> La ciencia en su dimensión educativa se asume como estrategia que facilita y promueve el reajuste progresivo de los esquemas de conocimiento y que conlleva a aprendizajes de conocimientos, habilidades, destrezas, actitudes y valores.

el logro de los aprendizajes como una forma de establecer relaciones entre los aspectos sociales que dan contexto y una retribución en los avances de la ciencia y la tecnología.

Los profesores promoverán que los alumnos adquieran una visión integral de la disciplina que tome en cuenta los componentes: conceptuales, didácticos, metodológicos, interdisciplinarios e histórico-sociales dado que la física es una ciencia en constante evolución.

Papel del alumno de acuerdo con el modelo educativo del Colegio y los programas de estudio actualizados:

- *Es quien construye su propio conocimiento a través de su participación activa en el aula – laboratorio.*
- *Reflexiona y cuestiona los planteamientos surgidos de las discusiones, investigaciones y actividades propuestas por el profesor, sus compañeros o por él mismo.*
- *Desarrolla una actitud de investigación de los fenómenos naturales a través de actividades experimentales.*
- *Reflexiona sobre el qué, para qué y cómo aprende.*
- *Desarrolla una actitud de indagación de los fenómenos naturales a través de actividades experimentales o de investigación documental.*
- *Asume una actitud de colaboración y cooperación en su participación en el aprendizaje de la física para él y sus compañeros.*
- *Vincula la física con su vida cotidiana a través del desarrollo de actividades dentro y fuera del aula – laboratorio y del desarrollo de proyectos.*
- *Asume una actitud crítica ante las aplicaciones de la física que afectan la naturaleza o el desarrollo de las sociedades.*

Papel del profesor para cumplir con el enfoque plasmado en los programas de estudio actualizado:

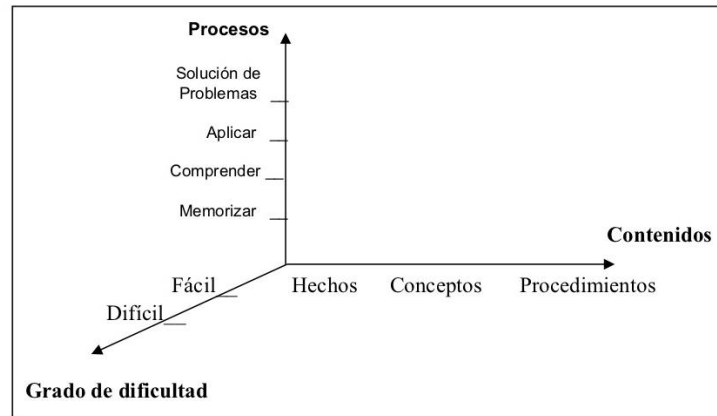
- *Orienta el proceso de aprendizaje en torno a situaciones de interés para los alumnos.*
- *Promueve el planteamiento y resolución de problemas concretos que muestren las características explicativas y predictivas de la física.*
- *Promueve el trabajo colaborativo y cooperativo en el aula – laboratorio.*
- *Diseña actividades de aprendizaje para fomentar el interés y el gusto por la física y por la ciencia en general.*
- *Procura que la generación y confrontación de ideas se haga con base en los intereses y capacidades de los estudiantes.*
- *Promueve, guía y supervisa la búsqueda de información a través de investigaciones documentales y experimentales, así como su posterior interpretación y comunicación, para la estructuración de nuevas explicaciones.*
- *Propicia la comunicación entre los alumnos y él, para permitir que ocurran procesos de realimentación y aprendizaje compartido.*
- *Propicia la actitud crítica de los alumnos ante el conocimiento, su forma de construcción, validación y aplicación.*

La realización de actividades experimentales, elaboración de proyectos e investigación resaltan la importancia del papel que juega la actividad experimental en el aula – laboratorio considerando que es una herramienta para construir y validar el conocimiento.

#### Evaluación

En los programas actualizados en 2016 se considera a los aprendizajes como eje central y los aspectos a evaluar son cognitivos, metacognitivos y actitudinales, por lo que la evaluación se considera en tres momentos que son diagnóstica, formativa y sumativa. En este sentido, la evaluación debe ser funcional (de fácil aplicación e interpretación), continua e integral (constante y presente en las propias experiencias de aprendizaje) y servir para retroalimentar tanto al profesor (que le sirva de parámetro para establecer nuevos procedimientos didácticos) como al alumno (para que pueda aprender de sus aciertos o errores).

Los instrumentos de evaluación deberán verificar el logro de los aprendizajes considerando los procesos y las componentes que abarcan el grado de dificultad en la adquisición de contenidos y procedimientos.



- Los contenidos conceptuales se pueden evaluar mediante un examen escrito, la elaboración de mapas mentales, la elaboración de un reporte de un experimento, o un reporte de algún tema de investigación.
- Los procesos realizados durante el manejo de los contenidos pueden tener diferentes finalidades. Una de ellas puede ser capacitar a los estudiantes para usar procedimientos para adquirir conocimientos nuevos y aprender a usar y aplicar los nuevos conocimientos adquiridos. Dentro de ellos se pueden enmarcar el manejo adecuado de equipo e instrumentos de laboratorio, aplicación de las TIC's en el laboratorio, estructuración y elaboración de un reporte de una actividad experimental o de un proyecto de investigación, resolución de ejercicios de lápiz y papel sobre un tema en particular y por último la exposición de temas de investigación empleando elementos de la metodología de la ciencia dado que dicha exposición requiere de la apropiación del lenguaje científico para comunicar en forma oral y escrita sus resultados.

### III. DIDÁCTICA DE LA ENSEÑANZA EN LA MATERIA DE FÍSICA

#### III.1. Didáctica de las ciencias

La didáctica de las ciencias juega un papel muy importante debido a que es el área de conocimiento que integra un conjunto sistemático de normas, principios, recursos y procedimientos específicos que el profesor de ciencias debe conocer y saber aplicar para orientar de forma acertada a los alumnos en el proceso de aprendizaje, que incluye conocimientos, habilidades, actitudes y valores.

La didáctica de las ciencias experimentales se fundamenta en dos ejes principales que son: la naturaleza de las ciencias y la naturaleza del proceso de enseñanza - aprendizaje.

La naturaleza de las ciencias se refiere a las concepciones que se tienen respecto a cómo se concibe a la ciencia y al conocimiento, por lo que la selección del contenido de enseñanza ha de estar acorde con las concepciones que tiene cada profesor. Se dice que detrás de cada modelo de enseñanza existe un concepto de ciencia con sus teorías y leyes para mostrar una interpretación de la realidad.

La epistemología de las ciencias se encarga del estudio de la naturaleza de las ciencias y es una parte de la filosofía que permite contrastar los conocimientos que ha elaborado la ciencia y cuestionar sobre el valor de sus métodos y de las interpretaciones que ofrece la naturaleza.

Para entender cómo ha evolucionado esta concepción de la naturaleza de la ciencia y tener un referente de la concepción actual, a continuación, se presenta una descripción en forma breve.

En la antigüedad se formaron dos grandes corrientes del pensamiento para explicar la forma en la que se generaba el conocimiento: la escuela empirista y la escuela racionalista.

- En el empirismo (Bacon, Hume, Locke): *“La verdad existe y puede ser hallada a través de los experimentos” (Mellado y Carracedo, 1993)*.

El conocimiento de acuerdo con la escuela empirista se desarrolla a partir de la experimentación mediante un método científico riguroso e inductivo. Esta corriente tuvo un papel muy importante en el llamado Círculo de Viena, donde sus seguidores los positivistas

lógicos, aspiraban a reformar la ciencia de tal manera que todos sus principios, leyes y teorías fueran observacionales. En la actualidad en física sabemos que esto no es posible.

- El racionalismo (Descartes, Kant): *“La razón y los conceptos creados por la mente se tienen en el proceso de formación y fundamentación del conocimiento científico”*( Mellado y Carracedo, 1993).

En la escuela racionalista se creía que el conocimiento era creado por la experiencia de los sentidos, pero debería ser creado en estructuras mentales trascendentes para convertirse en un conocimiento científico. La ciencia se presentaba como un conjunto de conocimientos racionales válidos para describir la realidad. La escuela racionalista también presentaba problemas y por lo mismo, surge una nueva corriente:

- Falsacionismo de Popper, *“Es posible la elección entre dos teorías rivales siempre y cuando se realice una contrastación entre ellas con hechos conocidos y con predicciones que puedan ser comprobadas experimentalmente, o bien, apoyadas por argumentos hipotético-deductivos y que mediante conjeturas y refutaciones se puedan conseguir progresivamente teorías más verosímiles”*.

Como se puede ver, el Falsacionismo de Popper integraba las dos grandes corrientes (empirismo y racionalismo), dándole su importancia a cada una que además incluía una forma de validar el conocimiento. Como consecuencia en los años sesenta se inició un debate que en la actualidad no se ha resuelto. Este debate tiene su origen en que existen serias dificultades para justificar el rigor del método científico y también, para contrastar el modelo de ciencia racionalista con la historia de los descubrimientos de los conocimientos científicos. Lo que pasaba era que los racionalistas pensaban que si la ciencia era racional, también debería de ser racional el avance de la ciencia y las modificaciones a sus teorías, lo cual no sucedió dado que en algunos momentos de la historia durante la evolución de la ciencia y del conocimiento, se presentaron las llamadas revoluciones científicas. Dichas revoluciones rompieron el esquema que se tenía y contradecían las ideas positivistas y racionalistas. Una revolución científica se entiende como un cambio bastante brusco en la sustitución de un paradigma. Esta sustitución se da cuando el paradigma actual muestra problemas para explicar la realidad. Para justificar la existencia de las revoluciones científicas podemos mencionar las ideas de Kuhn y Lakatos:

- *“La actividad científica es dirigida por un conjunto de paradigmas que determinan la naturaleza de los problemas, colocando en un lugar central los factores socio-psicológicos para explicar la evolución de las ciencias”.*
- Lakatos, decía que *“las teorías científicas no son sustituidas simplemente porque sus hipótesis puedan ser refutadas experimentalmente, sino que la historia de las ciencias puede ser escrita en términos de competencias entre programas de investigación alternativos” (Mellado y Carracedo, 1993).*

Estos programas se evaluaban por su capacidad para explicar con éxito nuevos modelos.

Actualmente, La ciencia se origina mediante un proceso cíclico en la investigación que comienza con el planteamiento de problemas y termina de la misma manera con la finalidad de generar el nuevo conocimiento. Aquí se puede mencionar a la ciencia de la cognición.

- La ciencia de la cognición (Giere, 1992). En esta perspectiva se considera a la ciencia como el resultado de una actividad cognitiva que tiene la finalidad de generar conocimientos. En este modelo, las teorías científicas son representaciones mentales que no pretenden llegar a la verdad o a la falsedad, sino que pretenden establecer similitudes en ciertos aspectos para propósitos determinados.

En la ciencia de la cognición es de suma importancia el conocimiento inicial para generar el nuevo conocimiento. Durante la adquisición del conocimiento son necesarios procesos que involucran: la observación, hipótesis, investigación, diseño experimental, experimentación, análisis e interpretación de resultados. Pero estos procesos no se dan en forma individual, el conocimiento científico es un conocimiento construido por colectivos o por comunidades de científicos, es un conocimiento estructurado que puede estar en constante cambio. El trabajo de los científicos está formado por un conjunto de actividades que se desarrollan en un contexto y tiene cierta formalidad.

### **III.2. La naturaleza del proceso de enseñanza - aprendizaje**

A lo largo de la historia se han desarrollado diferentes teorías educativas que explican el proceso de enseñanza – aprendizaje. Dichas teorías están muy relacionadas con las condiciones sociales y políticas de cada país y de cada momento. La manera en cómo han evolucionado estas teorías también tiene que ver con la evolución en las concepciones de

cómo se adquiere el conocimiento y como se concibe a la ciencia. Algunas características de las diferentes teorías se muestran a continuación.

- El conductivismo. Surge a partir de los años cincuenta dentro del marco racionalista, e influyó mucho en los procesos de enseñanza. De acuerdo con esta teoría, el aprendizaje se produce por asociación. La objetividad de esta teoría ha sido muy cuestionada debido a la imagen fragmentada de conocimiento, y conductas, a simple vista como relaciones de causa y efecto.
- El cognitivismo. Dentro de esta corriente se desarrolló la teoría del aprendizaje jerárquico de R. Gagne. Éste es un aprendizaje que adopta teorías de asociación conductivista y cognitivas, distinguiendo ocho fases sucesivas de todo aprendizaje: *Motivación, aprehensión, adquisición retención, recuerdo, generalización, ejecución y retroalimentación*. En cada una de las fases se activa un proceso psicológico distinto e intervienen diversos estímulos externos que pueden ser manejados para que se produzca el aprendizaje. Sus limitaciones provienen de su falta de capacidad para explicar la naturaleza constructiva del recuerdo y la existencia de teorías espontáneas generadas por la persona que aprende.
- El estructuralismo. Se conoce como aprendizaje por reestructuración. Parte de dos supuestos:
  - *Primero, no solo se recibe la información, sino que el sujeto receptor la procesa, la elabora y la codifica, es decir, la reestructura.*
  - *Segundo, la cantidad de la información almacenada está limitada por la capacidad de la memoria, pero depende de la calidad del procesamiento y de su cantidad.*
- La psicología cognitiva de Piaget. Se refiere a la forma en cómo se genera el *conocimiento* y cómo se desarrolla la inteligencia. Para Piaget, el conocimiento y la inteligencia se desarrollan como *resultado de la adaptación del individuo al medio en el que vive*. Esta adaptación consta de dos mecanismos, la asimilación y la acomodación. El conocimiento se adquiere en el momento en el que se modifica una estructura debido a los elementos asimilados. Considera el conflicto cognitivo como una condición necesaria para que el sujeto modifique sus esquemas y así se *produzca un progreso en el conocimiento*. Esta teoría es una de las más importantes



que ha trascendido debido a que hace evidente la necesidad del acompañamiento personal durante el proceso de aprendizaje.

- El aprendizaje significativo de Ausubel. Según este autor existen dos modelos extremos de aprendizaje: aprendizaje significativo y aprendizaje memorístico. En la construcción del nuevo aprendizaje, las preconcepciones del alumno pueden ser aprovechadas y superadas para construir el nuevo conocimiento, de tal manera que el aprendizaje sea significativo, pero también pueden ser un obstáculo y en este caso, el nuevo conocimiento será solo memorizado, pero no será significativo. Las dificultades que presenta esta teoría, es que considera que el conocimiento es estático y acumulativo. Es una teoría útil para organizar aprendizajes, pero no considera los cambios conceptuales trascendentes.
- La sociología cognitiva de Vygotsky. Indica que el cambio en el conocimiento se puede presentar desde los procesos sensoriales básicos o elementales hasta llegar a procesos superiores en los cuales el sujeto que aprende se puede apropiarse de un lenguaje específico de la actividad intelectual o cultural de tal manera que pueda modificar su conocimiento. Dicha modificación puede ser en forma progresiva y activa. Las aportaciones de esta teoría están centradas en la importancia del entorno escolar y en la interacción con el adulto (Llorens, 1991) introduciendo el concepto de “zona de desarrollo potencial” que corresponde a aquellas adquisiciones o habilidades accesibles al alumno a través de la interacción con otro compañero más avanzado.
- El procesamiento humano de la información. Al igual que en las computadoras, propone un sistema cognitivo humano como un proceso en el cual se dispone de una entrada de información, de una base de datos que contiene tanto información como las reglas de operación, y una salida de información considerada como el nuevo conocimiento. Para cumplir con los fines en esta teoría se requiere que el alumno sea activo y consciente para que pueda validar sus conceptos, entrelazarlos y formar redes para interpretar el mundo exterior. Las críticas al procesamiento humano de la información van dirigidas a la comparación que hace con las computadoras dado que los problemas que resuelven las computadoras y los que resuelve la mente son diferentes.
- El constructivismo. El aprendizaje se considera como una construcción activa de saberes significativos. En la perspectiva constructivista convergen aspectos

importantes de teorías como son las de Piaget, Ausubel, Vygotsky, el Procesamiento Humano de la Información y Driver por mencionar algunas.

### **III.3. Enseñanza de la Física desde una perspectiva constructivista**

En la actualidad, la Física se considera como una ciencia en constante evolución y con gran impacto en el desarrollo tecnológico. Se dice que la física es la ciencia que estudia la naturaleza. El estudio de la naturaleza en la mayoría de los casos requiere de la observación, la emisión de hipótesis y la experimentación. Esta presentación de la física enfatiza los aspectos cualitativos y cuantitativos de los fenómenos considerados y es una alternativa para hacerla más comprensible, interesante, atractiva y significativa para los estudiantes, pero no debe ignorarse el análisis riguroso de la metodología de la ciencia dado que todos los principios, leyes y teorías necesariamente deben ser corroborados y coincidir con las observaciones experimentales. Dada la importancia de la física, el proceso de enseñanza – aprendizaje debe planearse de una forma atractiva para los alumnos y propiciar situaciones de aprendizaje contextualizado en el aula y en el entorno social en el que viven.

Dentro de este marco, resulta necesario que en el abordaje pedagógico - didáctico de la Física exista un adecuado balance entre la enseñanza de los fundamentos teóricos (conceptos, leyes, principios, teorías, etc.) de la disciplina y los aspectos metodológicos involucrados en este proceso. Para ello, se hace uso de las actividades experimentales que constituyen una oportunidad para la observación de los fenómenos en estudio y las leyes que rigen su comportamiento y también es importante destacar el uso de las tecnologías de la información y comunicación que tenemos a nuestro alcance para representar modelos o situaciones que no son perceptibles a simple vista y que pueden ayudar al alumno a formarse esquemas que le permitan explicar dichos fenómenos aun cuando estos se presenten en la estructura interna de la materia.

## IV. DELIMITACIÓN DEL TEMA DE ESTUDIO

*“Propuesta Didáctica para la enseñanza de los conceptos básicos de la Física Cuántica en el Bachillerato”*

Dado que en los programas de las asignaturas de Física que se imparten en el bachillerato, independientemente del modelo educativo, se incluye indiscutiblemente a la Física Cuántica como un tema obligatorio debido a sus innumerables aplicaciones, sobre todo en el desarrollo tecnológico, en este trabajo de Tesis, se centra el interés en el estudio del tema de radiación y su interacción con la materia, con el objetivo de conducir a los alumnos al estudio de la crisis de la física clásica que dio lugar al origen de la física cuántica. Para esto se tomará como punto de partida a las ondas electromagnéticas y sus fundamentos teóricos.

### IV.1. Ubicación

El tema se ubica en el programa de la asignatura de Física II, en la tercera unidad “Introducción a la Física moderna y contemporánea”. Esta asignatura se imparte en el cuarto semestre en el Colegio de Ciencias y Humanidades a alumnos cuyas edades están entre 15 a 18 años.

En el programa de la asignatura se pide que el alumno

*“Conozca los fundamentos y avances de la física contemporánea y la importancia que ésta tiene en su vida cotidiana por su impacto en la tecnología y en la sociedad actual”.*

El problema educativo que se plantea resolver en esta propuesta es *¿Cómo lograr un aprendizaje significativo, en los alumnos de bachillerato, de los conceptos básicos que dieron origen a la Física Cuántica?*

Esta propuesta didáctica se enfoca al estudio del tema de radiación y su interacción con la materia, por los siguientes motivos:

- El entendimiento del concepto de radiación electromagnética es complejo y abstracto, dado que su entendimiento implica el manejo tanto de conceptos de la física clásica (campo eléctrico, campo magnético, onda electromagnética etc.) principalmente la teoría de la síntesis del electromagnetismo de Maxwell, como de

la física cuántica (cuantos, fotones, modelo atómico cuántico, cuantización de la materia y la energía, ondas de materia) y por ende las teorías de Planck, Einstein, Bohr y Luis de Broglie por mencionar algunas.

- El tema muestra una transición entre la física clásica y la física cuántica, lo que a principios del siglo XX representó un cambio radical a la visión que se tenía de la física.
- Surge el estudio de fenómenos que la física clásica no podía explicar como son: la radiación de cuerpo negro, el efecto fotoeléctrico y los espectros de emisión y absorción, que darían lugar al surgimiento de la física cuántica.
- Los conceptos básicos de la física cuántica representan un reto para los alumnos de bachillerato, quienes muestran un aprendizaje empírico superficial o memorístico de los conceptos pero un gran interés por conocer sus aplicaciones.

Las preguntas a la que responde esta investigación son:

¿Se pueden introducir los conceptos básicos que dieron origen a la física cuántica utilizando el tema de radiación electromagnética y su interacción con la materia en alumnos de educación media superior?

¿Se logra un aprendizaje significativo mediante la enseñanza de la Física con un proceso de investigación dirigida y un modelo constructivista?

## **IV.2. Los problemas con la enseñanza de la Física en el bachillerato**

En la actualidad, es común que el proceso de enseñanza – aprendizaje en la asignatura de física se lleve a cabo utilizando un modelo tradicional centrado en el profesor, cuya función es solo el transmitir el conocimiento a los estudiantes, quienes son considerados como meros receptores. Las demostraciones experimentales que se realizan, en algunos casos son experiencias de cátedra que el profesor lleva a cabo intercalándolas con la teoría que expone. Estas actividades generalmente carecen de datos y si el alumno realiza la actividad experimental es en base a un instructivo elaborado y supervisado por el profesor. La resolución de problemas se reduce a ejercicios de lápiz y papel en los que se pide poco desarrollo de razonamiento y habilidades intelectuales. Según Mc Dermott (2001), este tipo de enseñanza lleva a diversos problemas:

- *La facilidad para resolver problemas cuantitativos estándares no es un criterio adecuado para evaluar el entendimiento de los contenidos disciplinarios.*
- *En una instrucción tradicional, generalmente no hay conexión entre conceptos, representaciones formales e interpretación del mundo real.*
- *Ciertas concepciones erróneas no son superadas con una instrucción tradicional. El acceder a niveles más avanzados de instrucción no necesariamente incrementa en nivel de entendimiento de los conceptos básicos.*
- *La instrucción tradicional no promueve una estructura conceptual coherente.*
- *El incremento en la capacidad de análisis y razonamiento no es el resultado de una instrucción tradicional.*

La enseñanza de la física cuántica en el Bachillerato.

La enseñanza de la física cuántica se introdujo en el currículo del bachillerato en 1990 por la LOGSE (Ley Orgánica General del Sistema Educativo del 3 de octubre de 1990) y posteriormente en 2007 por la LOE (Ley Orgánica Estatal aprobada el 6 de abril de 2006). Desde entonces, se ha detectado la existencia de dificultades no superadas que siguen persistiendo después del proceso de enseñanza - aprendizaje. Estas dificultades se deben a diferentes aspectos, como son:

1. La visión de la ciencia y los modelos de enseñanza – aprendizaje que aplica el profesor en el salón de clase.
2. Las dificultades que se refieren a los alumnos.
3. Las dificultades propias que presenta el entendimiento de los contenidos de la disciplina, en esta parte también se incluye a los libros de texto y los medios de los que dispone el profesor y el estudiante en el salón de clase.

A diferencia de la mayoría de los conceptos involucrados en la enseñanza de la física clásica, en donde el estudiante puede observar directamente las aplicaciones de éstos a su vida diaria, los contenidos propios de la física cuántica, sus conceptos básicos y los modelos involucrados están muy alejados de las percepciones cotidianas por lo que su enseñanza en el nivel medio superior no siempre ha sido bien recibida por los profesores que están acostumbrados al uso de modelos clásicos.

Por otra parte:

- Algunos profesores evitan la enseñanza de la física cuántica en bachillerato ya que argumentan que los conceptos involucrados en la física cuántica son complejos y contra intuitivos. De acuerdo con este sector, el tratamiento correcto de la física cuántica requiere el uso de un formalismo matemático muy complejo, imposible de entender por los estudiantes de este nivel educativos (Johnston *et. al.*, 1998).
- Otra de las posturas observadas en la enseñanza de la física cuántica en el Bachillerato es la visión rápida, formulística y superficial de los temas, sin contemplar la parte importante que hace referencia al avance de la ciencia y sus aportaciones en la tecnología y la sociedad actual (Solbes 1996).

Como se puede ver, hay argumentos que muestran que no se logra un aprendizaje significativo de la física cuántica en el Bachillerato.

La problemática que presentan los alumnos en el aprendizaje de contenidos en física es:

- La influencia de los conocimientos previos y preconcepciones del alumno pueden dificultar el logro de un aprendizaje significativo.
- La falta de interés o habilidad para realizar las tareas o actividades propias de la construcción del aprendizaje de la física.
- Física es una de las ciencias que el alumno identifica con frecuencia como sinónimo de resolución de problemas (ejercicios de lápiz y papel) lo que implica la memorización de las fórmulas. No reconocen el uso de modelos matemáticos como instrumentos de gran utilidad para comprender el mundo que les rodea y además transformarlo.

Los libros de texto y los medios de los que dispone el profesor y el alumno en el salón de clase pueden ser un impedimento para el logro de un aprendizaje significativo pues:

- La mayoría de los libros de texto en la educación media superior presentan un carácter lineal en el desarrollo de los contenidos y muy técnico en lo que se refiere a ejercicios de lápiz y papel. Esto propicia un aprendizaje memorístico y repetitivo.

- El entendimiento de los fundamentos teóricos de los contenidos de la disciplina se dificulta debido a la ausencia de una estructura lógica y fundamentada y carente de un contexto histórico social que presentan la mayoría de los libros de texto.
- El uso superficial y carente de contenido científico de las tecnologías de la información y la comunicación presenta serias dificultades en el proceso de enseñanza de la Física y de las ciencias en general.

Se puede decir que los métodos tradicionales mediante clases expositivas, que incluyen alguna demostración o actividad experimental acompañada de la resolución de ejercicios de aplicación (extraídos generalmente de un libro de texto), no está del todo mal, la principal dificultad radica en que probablemente el proceso de enseñanza - aprendizaje utilizado carece de contexto para el alumno y se vuelve demasiado tedioso.

Las investigaciones muestran que la enseñanza de las ciencias ha estado muy aislada de la vida cotidiana y no ha habido preocupación por desarrollar en el alumno actitudes responsables en el uso masivo de las tecnologías de la información y la comunicación, y prepararlos ante los nuevos retos morales, sociales, económicos, ambientales que son consecuencia de los avances tecnológicos que se presentan día a día.

### **IV.3. Planteamiento del problema**

El entendimiento de los conceptos básicos de la física cuántica representa un alto grado de abstracción para alumnos de bachillerato y para los profesores. Debido a ello, en el Programa de Física II de la Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades del 2003 y en la última versión del 2017 se pueden detectar problemas en cuanto al planteamiento de los aprendizajes y la contextualización temática, lo cual conduce a que los alumnos muestren un aprendizaje empírico superficial o memorístico de los conceptos.

¿Cómo hacer que los alumnos realicen una investigación en el tema de radiación y su interacción con la materia, usen los contenidos de física clásica y la física cuántica para entender el fenómeno, su naturaleza, y los avances en la ciencia y tecnología y se forme en ellos una actitud crítica y reflexiva en la toma de decisiones respecto a su entorno?

#### **IV.4. Hipótesis**

Se puede lograr un aprendizaje significativo mediante un enfoque constructivista y la investigación dirigida, al analizar los fenómenos que dieron origen a la Física Cuántica mediante el tema de radiación y su interacción con la materia tratando de contextualizar el aprendizaje mediante el aspecto histórico en el desarrollo de la ciencia y considerando el nivel cognitivo de los alumnos de educación media superior.

Se sabe que en la actualidad el avance de la ciencia y la tecnología muestran un uso masivo de equipo e instrumentos que funcionan a base de radiación o producen radiación por lo que se requiere que el alumno esté bien informado para que desarrolle una actitud consciente, en la toma de decisiones respecto a su entorno.



## V. PROPUESTA DIDÁCTICA

Este trabajo está centrado en la enseñanza-aprendizaje de algunos de los conceptos básicos del electromagnetismo y el origen de la física cuántica siguiendo la orientación constructivista formulada por Driver (1986) y el enfoque de la enseñanza de las ciencias como un proceso de investigación dirigida. También se toma en cuenta la propuesta de Arons (1990), quien hace referencia a la importancia en la Educación Media Superior de seleccionar tópicos esenciales con pocos conceptos de física moderna pues lo más importante en el curso introductorio de física moderna y contemporánea, es proporcionar a los alumnos una concepción simple de conceptos como: el electrón, los fotones, los núcleos y la estructura atómica. Arons, defiende la idea de que es necesario buscar en la física clásica los prerrequisitos esenciales para que los nuevos tópicos sean comprendidos.

Los objetivos generales que se persiguen en la propuesta didáctica que en este trabajo se propone son:

Que los estudiantes

- Comprendan que la física clásica tiene limitaciones y es determinista. Es decir, que el modelo de partícula de Newton y de onda de Huygens para la luz no pueden explicar algunos fenómenos físicos como la radiación de cuerpo negro, los espectros de emisión y absorción, el efecto fotoeléctrico y la difracción de electrones, por mencionar algunos.
- Conozcan el modelo atómico de Bohr y cómo es aplicado para explicar los espectros atómicos.
- Entiendan que los modelos son esquemas o estructuras provisionales que se describen y explican situaciones observables.
- Comprendan que los modelos ayudan en el entendimiento del funcionamiento de las cosas. Pero también tienen sus limitaciones.
- Comprendan la descripción ondulatoria de las partículas.

### V.1. El constructivismo

En la perspectiva constructivista convergen aspectos importantes de diversas teorías como la de Piaget, la de Ausubel, la de Vygotsky, el Procesamiento Humano de la Información y la de Driver por mencionar algunas.

Según Sanmartí (1995), hay dos principios básicos que resumen el pensamiento constructivista.

1. *El pensamiento es activo en la construcción del conocimiento, es decir, que el aprendizaje es más que una consecuencia de la actividad mental del que aprende que de una acumulación de informaciones y procedimientos.*
2. *Los conceptos son inventados más que descubiertos, es decir, el que aprende construye formas propias de ver y explicar el mundo, cosa distinta de pensar que a través de su actividad redescubre los conceptos y teorías propias de la ciencia actual.*

El enfoque constructivista que se utilizará en este trabajo de Tesis supone un proceso de equilibrio inicial y de reequilibrio posterior que podemos fundamentar de acuerdo con los cuatro puntos propuestos por Driver (1986):

1. *Los estudiantes tienen ya sus propias ideas explicativas respecto a los fenómenos físicos antes de empezar a estudiar ciencias. Estas ideas se organizan en estructuras que constituyen teorías.*
2. *El cambio nunca se producirá desde una situación en la cual un fenómeno tiene sentido hacia otra situación que no lo tenga. La nueva teoría se formará por reestructuración de la teoría previa y deberá superarla en cuanto a las posibilidades que ofrece de establecer nuevas y mejores relaciones entre las ideas. El problema es establecer una relación entre aprendizajes que, de alguna manera se van acumulando y la reestructuración que finalmente se producirá.*
3. *El aprendizaje activo de significados supone una secuencia de situaciones de equilibrio y desequilibrio o de conflicto cognitivo. Pero parece ser que no todos los conflictos conducen a una reestructuración de la pre-teoría.*
4. *El alumno debe ser protagonista de su propio aprendizaje y esto debe manifestarse necesariamente en su toma de conciencia de la existencia de un conflicto cognitivo. Si bien esta es una condición necesaria, no es una condición suficiente y queda por determinar cuáles son los procesos que intervienen en la solución del conflicto para que este genere comprensión.*

Así pues, desde el punto de vista constructivista el aprendizaje se refiere a que el estudiante construye formas propias de ver y explicar el mundo, lo que es muy distinto a pensar que a través de su actividad redescubre los conceptos y teorías de la ciencia. Por esta razón es

importante que el docente tome en cuenta los siguientes puntos propuestos por Driver (1986):

1. *Investigar las ideas previas de los alumnos y determinar las relaciones necesarias entre lo que se quiere enseñar y lo que el alumno ya sabe.*
2. *Conocer los puntos de vista de los alumnos y proveerlos de los materiales necesarios, de forma que los estimule para reconsiderar o modificar dichos puntos de vista y puedan encontrar el sentido para establecer relaciones.*
3. *Encontrar los significados y conceptos que haya construido el alumno, ya que, a partir de sus conocimientos, de sus actitudes, habilidades y experiencias, se van a determinar las formas mediante las cuales él mismo genere nuevos significados y conceptos que le sean de utilidad personal, debido a que quien aprende construye significados activamente.*

La investigación en didáctica de las ciencias, y en particular de la Física, se ha ocupado de analizar los cambios conceptuales, pero también los cambios procedimentales. Entre estos últimos el más estudiado es el denominado cambio metodológico, que se refiere al paso del “sentido común” a una familiarización de los alumnos con la metodología científica, lo cual se consigue cuando el estudiante se plantea un problema que le interesa y trata de resolverlo científicamente, es decir, ha de precisarlo, observarlo, emitir hipótesis, elaborar estrategias de resolución, etc., y analizar los resultados y sus posibles consecuencias.

Ahora bien, no hay que olvidar que, como señala Vygotsky (1979), el alumno no puede aprender solo y las mediaciones sociales (contextos, profesor, compañeros, etc.) facilitan el aprendizaje. En otras palabras, es necesario tomar en cuenta que las operaciones cognitivas se desarrollan por medio de la internalización de instrumentos culturales que existen fuera del individuo, evidenciando la influencia de la cultura y el lenguaje sobre la cognición personal.

Por otra parte, el aprendizaje de la ciencia se ve favorecido cuando los estudiantes participan, hablan y argumentan, por lo cual en la actualidad se hace énfasis en los razonamientos y argumentaciones de los estudiantes y en la forma en que interaccionan con la información aportada por los propios compañeros, por el profesor o por los libros de texto en el aula; es decir, que el estudiante no sólo sepa cómo se hace la ciencia sino que también pueda hablar de ciencia y comunicarla (Sanmartí, 1997; Jiménez et al, 2000; Jiménez y Díaz, 2003; Driver et al., 2000).

## V.2. La investigación dirigida

El modelo de enseñanza – aprendizaje de las ciencias por investigación dirigida es una metodología que se centra en el paradigma naturalista de las ciencias y tiene un enfoque constructivista. La ciencia se concibe como un proceso de interpretación de la realidad mediante la construcción de modelos o programas de investigación.

En este modelo, se propone el aprendizaje de los conceptos de la disciplina a través de la construcción de significados de manera activa. Esta metodología considera al aprendizaje de las ciencias como un proceso de construcción social de conceptos, principios, teorías o modelos en los que se requiere que se desarrolle en el alumno un cambio conceptual. Cabe mencionar que la investigación dirigida no se plantea con el objetivo de conseguir el cambio conceptual, éste se obtendrá durante el proceso de la investigación realizada para resolver un problema. De acuerdo con Diego-Rasilla (2004), el uso de la investigación en el aula implica, necesariamente, la puesta en práctica del pensamiento científico, por lo que es un modo de indagar en la realidad.

Como justificación para el uso de esta teoría educativa en la enseñanza de la Física se puede mencionar que el aprendizaje de conceptos científicos se aleja de lo superficial y memorístico, y que la propuesta acerca al estudiante al conocimiento de las situaciones históricas y sociales en los cuales se desarrolla el conocimiento científico.

Para el desarrollo de la investigación dirigida se mencionan cuatro puntos (Gil, Carrascosa Feri6 y Mart6nez Torregrosa; 1991) que se pueden tomar en cuenta sin que ello implique seguir una secuencia predeterminada:

- 1. Se plantean situaciones problem6ticas que generen inter6s en los alumnos y proporcionen una concepci6n inicial de la tarea.*
- 2. Los alumnos, trabajando en grupo, estudian cualitativamente las situaciones problem6ticas planteadas y, con las ayudas bibliogr6ficas apropiadas, empiezan a delimitar el problema y a explicitar ideas.*
- 3. Los problemas se tratan siguiendo una orientaci6n cient6fica, con la formulaci6n de hip6tesis (y explicitaci6n de las ideas previas), elaboraci6n de estrategias posibles de resoluci6n y an6lisis de comparaci6n con los resultados obtenidos por otros grupos de alumnos. Es esta una ocasi6n para el conflicto cognitivo entre concepciones diferentes, lo cual lleva a replantear el problema y a emitir nuevas hip6tesis.*

4. *Los nuevos conocimientos se manejan y aplican a nuevas situaciones para profundizar en los mismos y enfatizarlos. Este es el momento más indicado para hacer explícitas las relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad.*

Las situaciones problemáticas que se plantean permiten evidenciar las ideas previas de los alumnos, de forma que se pueden establecer los vínculos necesarios para que puedan construir, en forma significativa, sus nuevos conocimientos, así como promover actitudes positivas hacia el estudio de las ciencias y del trabajo del científico.

Ahora bien, la enseñanza de la Física utilizando la investigación dirigida debe de ir acompañada de estrategias didácticas que permitan evidenciar el logro de los aprendizajes y que propicien la elaboración de productos como *mapas conceptuales o mapas mentales, ensayos, reportes de actividades de investigación, etc.*

La gran ventaja de utilizar la investigación dirigida radica en que el profesor puede reforzar, retroalimentar, justificar, argumentar y cuestionar los resultados obtenidos por los alumnos comparándolos con los obtenidos por los científicos y promover con ello una actitud reflexiva y crítica de los estudiantes respecto al nuevo conocimiento.

### **V.3. La propuesta didáctica**

#### **V.3.1. La construcción de la propuesta**

En la actualidad, el avance de la ciencia y la tecnología ha llevado a un uso masivo de equipo e instrumentos que funcionan utilizando radiación electromagnética, o bien, producen este tipo de radiación. De aquí que se requiere que el alumno esté bien informado para que desarrolle una actitud consciente y razonada ante el panorama que le rodea, pues los problemas que enfrenta nuestra sociedad, como el cambio climático o la necesidad de desarrollar formas más limpias de generar energía, implican un conocimiento de los conceptos básicos de la Física para la toma de decisiones argumentadas.

Así pues, el estudio de la radiación electromagnética, su interacción con la materia y sus aplicaciones en la ciencia, la tecnología y la sociedad, son una forma de introducir al alumno en el análisis de temas relacionados no solo con la crisis de la Física Clásica y el origen de la Física Cuántica, sino también en el estudio de conceptos indispensables para comprender la importancia de la Física en el desarrollo de nuestra sociedad.

El cuerpo de conocimientos requeridos para entender el fenómeno de radiación, lo constituyen el estudio de las propiedades y características de las ondas electromagnéticas, los fenómenos de propagación de las ondas, las interacciones entre radiación y materia, la interpretación del espectro de emisión y absorción, y la estructura de la materia.

La participación del estudiante en actividades experimentales que permiten observar algunos fenómenos como la radiación de cuerpo negro, los espectros de emisión y absorción, el efecto fotoeléctrico y la difracción de electrones, lo motivará en el estudio de la física y en la aplicación del método científico para la resolución de problemas que podrá aplicar en su desarrollo profesional y en su vida diaria.

Los aprendizajes de la disciplina que plantean los programas de las asignaturas de física del bachillerato para la radiación electromagnética y las ideas que dieron origen a la dualidad onda-partícula son:

El estudiante

- Conoce algunos fenómenos físicos que la física clásica no pudo explicar.
- Describe el efecto fotoeléctrico.
- Reconoce los modelos atómicos.
- Describe los espectros de emisión y absorción y su relación con la estructura de los átomos.
- Aplica cualitativamente el modelo atómico de Bohr para explicar el espectro del átomo de Hidrógeno.
- Conoce la dualidad onda-partícula.

Por tanto, se requiere que los alumnos apliquen sus conocimientos y habilidades de adquisición de información a través de la investigación documental sobre temas de la física y tecnología contemporáneas. La propuesta didáctica ha sido construida de forma que se dan las bases para que el alumno interesado pueda investigar con una profundidad mayor los temas tratados.

*“La física se construye como un conjunto de ideas en continua evolución y de contextos sociales que conforman explicaciones a una parte de los fenómenos de la naturaleza, por ello, los alumnos deben conocer elementos del desarrollo histórico de la crisis de la física clásica y el origen de la física cuántica”.*

La propuesta de trabajo con los estudiantes se centra en cuatro puntos:

1. Los conocimientos previos como punto de partida.

Los estudiantes poseen sus propias ideas explicativas respecto a los fenómenos físicos aun antes de empezar a estudiar ciencia y estas ideas se organizan en estructuras dando lugar a teorías.

Los conocimientos previos de los estudiantes cumplen un papel central en el diseño de la estrategia didáctica. Por tal motivo, para cada uno de los momentos introductorios de la propuesta, se utiliza una serie de actividades encaminadas a evidenciar estos conocimientos.

2. Establecer una relación entre los conocimientos previos y los nuevos aprendizajes para propiciar la reestructuración y acomodo de los nuevos saberes, recordando que el cambio nunca se producirá desde una situación en la cual un fenómeno tiene sentido hacia otra que no lo tenga. Para este punto se plantea una serie de actividades como son:

▪ Los experimentos.

Dada la abstracción de los conceptos involucrados en la radiación electromagnética y la física cuántica, es indispensable la realización de actividades experimentales que permitan que el estudiante los visualice y construya modelos. En esta propuesta, se presentan actividades experimentales como son: la radiación de cuerpos incandescentes, radiación de cuerpo negro, espectros de emisión y absorción, efecto fotoeléctrico y difracción de electrones.

▪ El uso de herramientas visuales como apoyo a la construcción de nuevos aprendizajes.

El uso de videos o simulaciones por computadora que apoyan la realización de las actividades experimentales, la interpretación de fenómenos o la comprensión de conceptos es una parte importante de esta propuesta. Las referencias respecto a estos videos se mencionan en la parte correspondiente a las secuencias didácticas.

▪ Lecturas de apoyo para el entendimiento de los conceptos.

Debido al exceso de información que se encuentra en internet y los errores conceptuales que esta información puede tener, es necesario cuidar o conocer las fuentes de consulta de los alumnos y controlar, en cierta medida, que no se dispersen en esa búsqueda. En esta propuesta se sugieren algunas lecturas básicas para el entendimiento de los conceptos por cada tema.

La finalidad de estas actividades es propiciar en el alumno situaciones de equilibrio y desequilibrio (conflicto cognitivo) y con ello propiciar el interés por el estudio y producir un aprendizaje significativo. Es muy importante mencionar en esta parte que el desarrollo de nociones cuánticas es complejo dado que la radiación electromagnética y muchos fenómenos relacionados con su explicación, no son perceptibles a simple vista.

3. La socialización de la información.

Enseñar ciencias implica mediar situaciones en el proceso de aprendizaje del alumno. El diseño de las actividades en la secuencia didáctica, tanto en lo que se refiere a la planificación y organización, como a la dirección del trabajo individual y en equipo, sigue un enfoque constructivista en el que el alumno es el protagonista de su propio aprendizaje y para ello es necesario la negociación de significados entre pares y con los expertos. Algunas actividades, como la elaboración de mapas conceptuales, se desarrollan en equipo como una forma de negociar significados, establecer relaciones entre los contenidos y evidenciar el aprendizaje de los alumnos.

4. El lenguaje como una forma de apropiarse del conocimiento.

Durante el proceso de enseñanza – aprendizaje es muy importante ver cómo cambia el lenguaje del alumno al expresar sus ideas respecto al tema. Esta es una forma cualitativa de evidenciar el logro de los aprendizajes. Durante la propuesta se muestran algunas actividades como son: la exposición de temas en equipo o la realización de ensayos en forma individual.

### **V.3.2. El uso de internet**

La mayoría de los estudiantes abusan en el uso de internet, lo utilizan para realizar tareas y buscar la solución a problemas, o también para realizar una investigación, etc. En este caso, el uso de internet es necesario pero hay que enseñar a los estudiantes a seleccionar la información que consultan y a utilizarla para lograr un mejor entendimiento del tema.

En esta propuesta se contempla el uso de internet:

- Para realizar la investigación dirigida,
- Para ver algunos videos de actividades experimentales previo a la realización de estas actividades en el laboratorio.
- Para el uso de simuladores y obtener datos que no es posible obtener en los laboratorios curriculares y para la interpretación de fenómenos propios de la física cuántica.



- Para relacionar los contenidos de física cuántica con los avances en la ciencia, la tecnología y la sociedad actual, así como los riesgos para la salud que implica el abuso en el uso de algunas tecnologías.

Es necesario insistir con los alumnos que antes de realizar una investigación en internet hay que revisar los conceptos en libros de texto, como una manera de validar la información.

#### **V.3.4. Las ideas previas o preconcepciones de los alumnos.**

En lo referente a la exploración de los límites de los modelos de la física clásica (Gil et al., 1998), la mayoría de los libros de texto no hacen ninguna referencia al carácter no lineal del desarrollo científico, a las dificultades que generaron la crisis de la física clásica y a las profundas diferencias conceptuales entre la física clásica y la cuántica.

Como consecuencia, el modelo de enseñanza planteado en los libros en forma lineal del desarrollo científico propicia que en los alumnos cuyas edades están entre 16 y 18 años, se generen concepciones erróneas como son:

- La gran mayoría ignora la existencia de una crisis en el desarrollo de la física clásica.
- Desconoce las diferencias entre física clásica y física moderna.
- Presenta concepciones erróneas respecto a la dualidad onda partícula y a la ecuación de Einstein ( $E= mc^2$ ).

Las ideas previas o preconcepciones en lo referente al tema de radiación electromagnética y el de dualidad onda – partícula, algunas investigaciones muestran que los alumnos:

- No detectan ninguna diferencia entre los tipos de radiación.
- Los alumnos tienen la idea de que la emisión de la radiación existe y la asocian con calor y luz o radiactividad.
- La propiedad de emitir radiación es exclusiva del sol o algunos materiales como las lámparas o materiales a alta temperatura.

Por otra parte, los alumnos no tienen una idea clara acerca de la estructura de la materia, reconocen al átomo como constituyente de la materia, pero lo asocian a objetos inanimados o sin vida.

- El modelo de átomo que la mayoría de los alumnos tiene es un modelo orbital con el núcleo en reposo y los electrones girando a su alrededor, pero no saben por qué.
- No pueden explicar la diferencia entre un átomo y otro.
- No saben por qué los electrones se mantienen unidos al núcleo.
- Ellos piensan que los electrones no se separan del átomo y si esto ocurriera dejaría de existir.

Existen otras ideas previas referentes a algunos fenómenos como son radiación de cuerpo negro, efecto fotoeléctrico, dualidad onda-partícula y espectros de emisión y absorción, pero esas ideas se mencionan al inicio de la sesión en la que se aborda cada tema.

### **V.3.5. Estrategias de evaluación y de apoyo para el aprendizaje.**

Las formas e instrumentos de evaluación acordes con el modelo de investigación dirigida, bajo una orientación constructivista en el proceso de enseñanza —aprendizaje, pueden ser también utilizadas como un recurso de aprendizaje por el alumno.

*“La evaluación de la comprensión de un aprendizaje de calidad y la enseñanza para la misma no son actividades separadas. El profesor fomenta el aprendizaje comprensivo dando acceso a los alumnos al diálogo crítico sobre los problemas que encuentran al llevar a cabo sus tareas. Este tipo de evaluación forma parte del proceso de aprendizaje y no es sólo una actividad final, centrada en los resultados” (M. L. Martín)*

Dado que las actividades de evaluación forman parte del programa de actividades y con ello del proceso de enseñanza-aprendizaje, la evaluación se realiza de manera continua y el profesor participa como guía proponiendo nuevas preguntas o actividades que permitan profundizar en las ideas y centrar las discusiones hacia los nuevos aprendizajes.

Con la finalidad de contar con información disponible que permita al profesor percibir el avance de los alumnos, para valorar y orientar adecuadamente el aprendizaje, se deben de tomar en cuenta todas las actividades realizadas por los alumnos. A continuación, se muestran las actividades seleccionadas en esta propuesta de intervención pedagógica.

#### **Exámenes:**

En esta propuesta, el examen se utiliza como una actividad de cierre para obtener datos del logro de los aprendizajes en forma individual. También se puede utilizar como una

actividad de retroalimentación cuando el alumno corrige el examen después de haber sido calificado, con ello el alumno tiene la oportunidad de conocer sus errores, corregirlos y regular así su proceso de aprendizaje. La función del profesor es revisar el examen y, de ser necesario, discutir con el alumno las respuestas erróneas o preconcepciones.

Las características de los exámenes son:

- Para su resolución, el alumno podrá disponer de la información que considere necesaria (formulario, tablas de datos, calculadora, hojas milimétricas, etc.). El tiempo requerido para la resolución del examen debe de ser el necesario para concluir la tarea.
- El examen es una más de las actividades de aprendizaje, por tanto, es necesario corregirlo y retroalimentar las respuestas para dar continuidad al proceso.

### **Cuaderno de apuntes**

El cuaderno de apuntes es una herramienta de trabajo para el alumno y es un recurso más que se usa como evidencia del logro de los aprendizajes. En el cuaderno:

El alumno:

- reporta las tareas de investigación necesarias para abordar el tema,
- escribe y resuelve las actividades planteadas en clase.
- En la elaboración de actividades experimentales, el alumno reporta en el cuaderno el procedimiento, los datos de las observaciones realizadas, la información necesaria para hacer el análisis de resultados, escribe sus conclusiones, etc.

### **Mapas conceptuales, mapas mentales y cuadro sinóptico**

Esta es una herramienta visual que puede usar el profesor al inicio de un tema para ver la secuencia de contenidos, o al final a manera de retroalimentación en la etapa de cierre.

Para los alumnos el uso de mapas conceptuales, mentales o cuadros sinópticos es una estrategia de aprendizaje. Mediante el uso de mapas o diagramas, se pueden representar y organizar los contenidos, clasificarlos, y establecer relaciones entre ellos.

### **Cuestionarios de autoevaluación**

Los cuestionarios de autoevaluación se utilizan al final de cada tema para favorecer la reflexión del estudiante sobre lo aprendido. También es una evidencia para el profesor, ya que aporta información sobre la autopercepción del alumno y le permite realizar alguna retroalimentación para el grupo en general o para un alumno en particular, y de ser necesario, hacer ajustes a la intervención pedagógica.

### **Resolución de problemas de lápiz y papel**

En esta propuesta didáctica, la resolución de problemas de lápiz y papel no se elimina, sino que se retoma en el sentido de que permite vincular los conceptos con situaciones prácticas.

Los problemas analíticos que se plantean tienen como objetivo el uso de modelos matemáticos y la elaboración de gráficas para explicar relaciones entre variables que puedan describir algún fenómeno, y con ello darle sentido a la obtención de datos en un experimento y encontrar alguna explicación o poder hacer predicciones.

En la física cuántica resulta indispensable el uso de modelos para explicar los fenómenos que no son perceptibles, por lo que es necesario insistir en todo momento para que el alumno se familiarizarse con ellos.

## **VI. CONTENIDOS DISCIPLINARES DE LA PROPUESTA DIDÁCTICA**

Esta propuesta didáctica se centra en tres puntos:

- Los problemas de la física clásica al no poder explicar la radiación de cuerpo negro utilizando solo la síntesis del electromagnetismo.
- El estudio de la estructura de la materia con el modelo atómico de Bohr que permite explicar el origen de los espectros atómicos.
- El efecto fotoeléctrico y la difracción de electrones como prueba experimental de la dualidad onda-partícula.

### **VI.1. Antecedentes históricos y desarrollo de contenidos**

Durante el desarrollo de la ciencia se han presentado algunos eventos en los que los científicos no siempre se ponen de acuerdo. Un ejemplo de esto ocurrió a principios del siglo XVIII cuando Isaac Newton y Christian Huygens trataron de explicar la naturaleza de la luz. Ellos formularon teorías diferentes y cada uno trataba de justificar su teoría en la interpretación de los fenómenos presentados por la luz. En la Tabla 1 se muestra lo más relevante de cada teoría.

**Tabla 1.**

Christian Huygens	Isaac Newton
<p>Teoría ondulatoria:</p> <p>En su “Tratado de la luz”, publicado en 1690, proponía que la luz se comportaba como una onda mecánica longitudinal, parecida a las ondas sonoras, que se propagaba a través de un medio ideal (el éter).</p> <p>Su propagación se daba en línea recta, y por ser una onda debería de experimentar los fenómenos propios de las ondas como la reflexión y la refracción.</p> <p>Para explicar los fenómenos de reflexión y refracción imaginó una superficie de separación entre dos medios que podían ser aire y agua, cuando un haz de luz llegaba a la superficie de separación de los dos medios, una parte del haz luminoso chocaba y regresaba al primer medio sin pérdida de energía (reflexión), mientras que la parte del haz de luz que pasaba al segundo medio cambiaba su velocidad a causa de la diferencia de la densidad de los dos medios, por lo que el haz de luz refractado presentaba un cambio de dirección.</p>	<p>Teoría corpuscular</p> <p>En su libro “Óptica”, publicado en 1704, se refería a la luz como partículas minúsculas emitidas por focos luminosos en todas direcciones, dichas partículas viajaban en línea recta.</p> <p>La sensación luminosa se producía cuando las partículas de luz chocaban con nuestra retina.</p> <p>Las partículas diminutas a las que se refería Newton eran diferentes para cada color de luz.</p> <p>La reflexión de la luz la explicaba mediante un choque elástico que sufrían las partículas de luz al llegar a la superficie de los cuerpos opacos</p> <p>Respecto a la refracción, decía que las partículas de luz que atravesaban la superficie entre dos medios como aire – agua, eran atraídas por las partículas del medio de manera que esta atracción hacía que las partículas de luz aumentaran su velocidad respecto al eje perpendicular a la superficie, por lo que se podía ver un rayo refractado que se acercaba a la perpendicular.</p> <p>Newton pensaba que <u>la velocidad de las partículas luminosas era mayor en medios más densos como el agua.</u></p>

La teoría más aceptada y predominante por muchos años fue la teoría de Newton “teoría corpuscular”. Posteriormente, se desarrollaron tres experimentos que proporcionaron evidencia de la naturaleza ondulatoria de la luz, el primero de ellos fue realizado en 1801 por Thomas Young y en él se mostraba el fenómeno de la interferencia de la luz, el segundo en 1808, fue el planteado por Fresnel sobre la difracción de la luz y, por último, en 1850, Foucault logró demostrar que la velocidad de la luz era menor en el aire y esto contradecía

los planteamientos de Newton. Con esos tres experimentos se abandonó de momento la teoría corpuscular y se adoptó la “teoría ondulatoria” de Huygens.

Hasta aquí se han mencionado las dos teorías existentes respecto a la naturaleza de la luz con sus respectivas aportaciones, pero, como en todo, la historia continua y la ciencia siempre está en constante evolución por lo que resulta necesario mencionar una teoría más, y que es precisamente la que ha tenido una gran importancia tanto en el avance de la ciencia, como en la tecnología.

Entre los años 1861 a 1864, James Clerk Maxwell desarrolló su trabajo conocido como la “síntesis del electromagnetismo”. En él logra unificar en una sola teoría tres ramas de la Física que hasta ese momento eran consideradas independientes: la electricidad, el magnetismo y la óptica. Se preguntarán, ¿qué tiene que ver esto con la naturaleza de la luz?, la respuesta no es simple ya que Maxwell quería encontrar la forma de explicar la relación entre los campos eléctricos y magnéticos propuesta por Oersted, Gauss, Ampère, y Faraday, y al encontrarla encontró algo más.

Cabe mencionar que Maxwell era un excelente matemático y que al analizar los trabajos que hasta ese momento se habían realizado sobre la electricidad y el magnetismo, logró desarrollar una serie de ecuaciones mediante el uso del cálculo diferencial e integral. Con estas ecuaciones fue capaz de resumir todas las propiedades de los campos eléctricos y magnéticos. A partir de estas ecuaciones, Maxwell llegó a establecer una ecuación de onda que permitía establecer la existencia de las ondas electromagnéticas constituidas por campos eléctricos y magnéticos variables, acoplados entre sí, que se propagaban en el espacio sin necesidad de un medio material. Lo más importante de todo es que la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas en el vacío coincidía con la velocidad de la luz y en consecuencia afirmó que la luz era una onda electromagnética.

De acuerdo con la Electrodinámica Clásica, las ondas electromagnéticas son generadas por cargas eléctricas aceleradas y están compuestas por campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo. Cabe mencionar que las ondas electromagnéticas se pueden generar no solo al acelerar cargas eléctricas, sino que también se presentan cuando los átomos pasan de un nivel de energía mayor a uno de menor energía o bien, cuando partículas en movimiento uniforme que bajo ciertas condiciones viajan en el interior de medios.

Fue hasta 1887 que el científico alemán Heinrich Hertz demostró experimentalmente la existencia de las ondas electromagnéticas confirmando las ideas de Maxwell. Desde 1884, Hertz se dio a la tarea de diseñar dispositivos para generar y detectar las ondas electromagnéticas en un laboratorio. Con sus experimentos logró demostrar no solo que las ondas electromagnéticas existían, sino que también se podían reflejar y refractar como las ondas de luz y al medir la velocidad de propagación de dichas ondas encontró el mismo valor predicho por Maxwell. Hasta ese momento eran tres las teorías que mostraban las ideas principales respecto a la naturaleza de la luz

1. La luz como partícula (Newton)
2. La luz como onda mecánica (Huygens)
3. La luz es una onda electromagnética (Maxwell)

Con estas teorías parecía que la física estaba completa y que ya todo estaba dicho, pero no fue así. Para ese entonces había dos problemas que no se podían explicar con la teoría de Maxwell, el primero de ellos era el espectro de luz que emitía un cuerpo a alta temperatura como el acero fundido, o una fuente de luz incandescente como la de un foco; el segundo era explicar por qué una placa metálica previamente cargada se descargaba al hacer incidir luz ultravioleta sobre ella. Este último fenómeno, conocido posteriormente como efecto fotoeléctrico, fue resultado de los experimentos realizados por Heinrich Hertz, para demostrar la existencia de las ondas electromagnéticas.

Estudiar estos dos problemas nos permite ver cómo evolucionó la Física hasta llegar al nacimiento de la Física Cuántica.

## **VI.2. El espectro de la radiación de cuerpos incandescentes. El problema del cuerpo negro**

En el espectro de la luz visible se encuentra un continuo de colores que van desde el rojo al violeta. Por su parte, todos los cuerpos por efecto de su temperatura emiten radiación electromagnética conocida como radiación térmica, la cual también está constituida por una distribución continua de frecuencias (o longitudes de onda) que va desde el infrarrojo hasta el ultravioleta pasando por el visible.

Cuando la temperatura de un cuerpo es baja, la radiación electromagnética, es decir las ondas electromagnéticas que emite no es perceptible a simple vista pues se encuentra en el rango del infrarrojo. Conforme la temperatura del cuerpo aumenta, el color predominante



de la radiación emitida puede cambiar para encontrarse en el rango visible, primero de color rojo después amarillo, azul, hasta llegar a un color blanco incandescente como la luz de un foco. A temperaturas muy altas y se puede llegar al rango del ultravioleta que tampoco es perceptible a nuestra vista. De aquí, se puede inferir que al aumentar la temperatura aumenta la frecuencia de la radiación electromagnética emitida.

Las siguientes gráficas, figuras 1 y 2, muestran la relación entre la intensidad de la radiación, es decir la energía emitida por unidad de área a una temperatura dada por un cuerpo incandescente, y la frecuencia o la longitud de onda, respectivamente, para diferentes temperaturas. Habrá que recordar que la frecuencia y la longitud de onda son inversamente proporcionales.

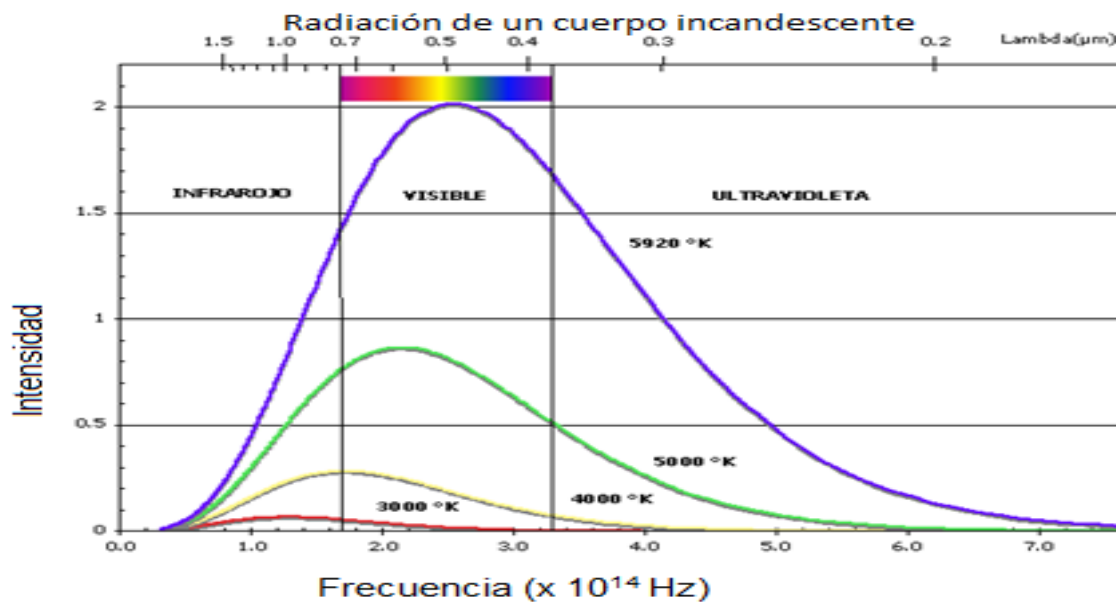
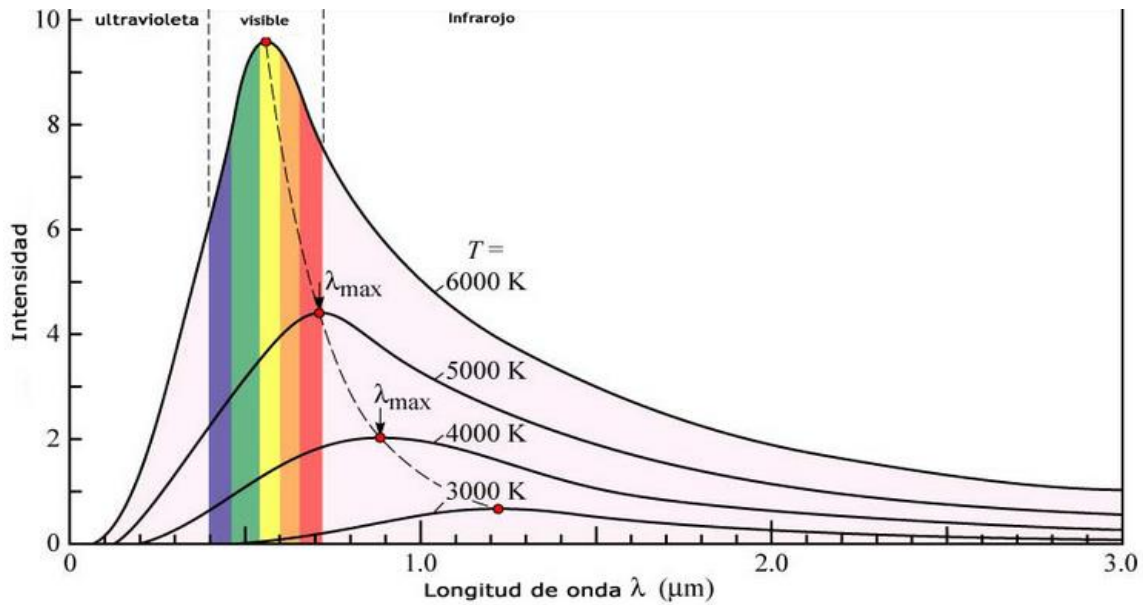


Figura 1. Intensidad contra frecuencia



**Figura 2. Intensidad contra longitud de onda <sup>3</sup>**

La forma de las curvas que aparecen en la figura 1 muestra que la intensidad de la radiación electromagnética emitida aumenta al aumentar la temperatura, mientras que para cada temperatura hay una frecuencia a la cual se emite la máxima cantidad de energía de radiación.

En la figura 2 se muestra que para cada temperatura también hay una longitud de onda a la cual la intensidad es máxima. En esta figura puede observarse que al aumentar la temperatura el valor de esta longitud de onda ( $\lambda_{max}$ ) disminuye.

La tarea más importante que tenían los científicos de finales del siglo XIX era encontrar una función de distribución que describiera la radiación emitida por un cuerpo como función de su temperatura (figuras 1 y 2). Para ello, se plantearon algunas teorías cuyos resultados no coincidían del todo con las observaciones experimentales. A continuación, se describirán las características de cada una.

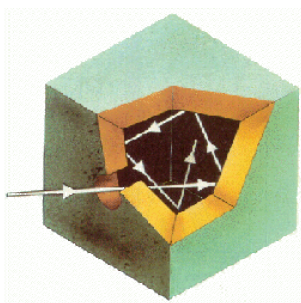
En 1860 Gustav Kirchhoff definió lo que entenderemos por cuerpo negro como aquél que puede absorber toda la radiación electromagnética que incide sobre él. Cabe mencionar que el nombre corresponde a una analogía con el color negro en óptica, pero esto no indica que el cuerpo negro sea de este color pues debemos recordar que, por el simple hecho de

<sup>3</sup> Obtenida de <http://www.quimicafisica.com>

emitir radiación electromagnética por efecto de su temperatura, podremos apreciar que su color depende del valor de la frecuencia para la cual se da la máxima emisión de ondas electromagnéticas. Otra de las características del cuerpo negro es que esta función de distribución de la radiación no dependía de las propiedades del material con el que se construyera ni de su forma, lo cual desafiaba las ideas de la época.

En su ley de radiación Kirchhoff propuso que *“los cuerpos que son buenos emisores de radiación térmica, son también buenos absorbentes de dicha radiación”* y que cuando se alcanza el equilibrio térmico la energía que absorbe es igual a la que emite por lo que también un cuerpo negro es un emisor ideal.

La figura 3 muestra un modelo de cuerpo negro. En esta imagen se observa el pequeño orificio que conduce a la cavidad realizada en un material y cuyas paredes internas se han pintado de negro.



**Figura 3. Cavidad de cuerpo negro<sup>4</sup>**

En este caso, quien se comporta como un cuerpo negro es el pequeño orificio ya que la radiación electromagnética que entra por él es absorbida en su totalidad puesto que al ser tan pequeño el orificio, la probabilidad de que después de múltiples choques con las paredes en la cavidad las ondas electromagnéticas vuelvan a salir por el orificio es muy pequeña. Además, el que las paredes estén pintadas de negro implica la absorción de gran parte de la energía de las ondas incidentes. Así pues, la radiación que observemos que sale por el pequeño orificio se puede asociar solo a aquella que se emite por efecto de su temperatura. Por otra parte, el análisis de esta radiación muestra que solo depende de la temperatura y no de las propiedades del material ni de la forma de la cavidad.

---

<sup>4</sup> Imagen tomada de <http://www.quimicafisica.com>

En 1884, Stefan Boltzmann estableció que para un cuerpo negro, la energía de la radiación emitida por unidad de tiempo y por unidad de área, conocida como potencia emisiva superficial medida en Watts/m<sup>2</sup>, es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta, es decir,

$$P = \sigma T^4$$

donde  $\sigma$  es una constante conocida como la constante de Boltzmann cuyo valor es de  $5.67 \times 10^{-8}$  Watts/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>.

En 1893, Wilhelm Wien propuso que un cuerpo negro emite radiación electromagnética en todas las longitudes de onda y que la distribución de la energía de esta radiación es tal que a una determinada longitud de onda ( $\lambda_{max}$ ) la intensidad de la radiación es máxima. Además, el valor de esta  $\lambda_{max}$  era inversamente proporcional a su temperatura absoluta, esto es

$$\lambda_{max} = \frac{(2.898 \times 10^{-3} mK)}{T}.$$

Con esta expresión, se puede ver que si la temperatura aumenta, la longitud de onda máxima disminuye, lo que se observa en la figura 2. Esta ley, conocida como *ley de desplazamiento de Wien*, explica los cambios de color de la radiación en el espectro visible que emiten los cuerpos al calentarse y que va desde el rojo, pasando por el amarillo, azul, etc., como se puede ver en la figura 2. De acuerdo con la ley del desplazamiento de Wien, a medida que aumenta la temperatura, el máximo de la energía de la radiación se desplaza hacia longitudes de onda más cortas, es decir, se desplaza hacia frecuencias mayores.

Por otra parte, Wien también propuso una función de distribución para explicar la forma de las gráficas basándose principalmente en los conceptos fundamentales de la electrodinámica y la termodinámica. Sin embargo, esta expresión no era del todo correcta pues los físicos experimentales se dieron cuenta de que su expresión no se ajusta a las gráficas obtenidas cuando se analiza la radiación electromagnética emitida a bajas frecuencias, es decir, longitudes de onda grandes.

Lord Raleigh y Sir James Jeans, presentaron en 1900 una explicación al problema de la radiación del cuerpo negro, obtenida a partir de las propiedades de las ondas

electromagnéticas y el principio de equipartición de la energía. La expresión que encontraron puede escribirse

$$\rho_T(\nu) = \frac{8\pi k\nu^2 T}{c^3},$$

$\rho_T(\nu)$  es la densidad de energía en la cavidad para una frecuencia  $\nu$  a la temperatura  $T$  y  $k$  la constante de Boltzmann ( $k=1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ ).

Aunque la expresión de Rayleigh-Jeans se podía ajustar a los datos experimentales para bajas frecuencias, es decir, longitud de onda grandes; cuando se analizaba lo que sucedía a altas frecuencias, es decir, longitudes de onda cortas (como en el rango del ultravioleta), la densidad de energía predicha por ellos tendía hacia infinito, lo cual no se observa experimentalmente. A este comportamiento se le llamó la catástrofe del ultravioleta (Figura 4).

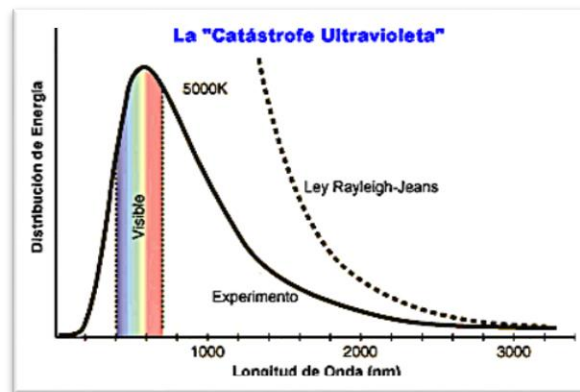


Figura 4. La catástrofe ultravioleta<sup>5</sup>

Como se puede ver, hasta ese momento no había una función de distribución que explicara exactamente lo que ocurría en todo el rango del espectro. Parecía que todos los intentos por encontrar esta función de distribución aplicando las leyes de la física clásica fracasaban.

Finalmente, a principios del siglo XX Max Planck, en su trabajo sobre *la "La teoría de la ley de distribución de la energía del espectro normal"*, publicó una explicación coherente con las observaciones experimentales, claro que para ello fue necesario abandonar las ideas clásicas del momento e introducir conceptos nuevos como el suponer que la energía puede

<sup>5</sup> Imagen tomada de <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu>

tomar únicamente ciertos valores discretos, en vez de cualquier valor. Esta hipótesis le llevó a la expresión correcta:

$$\rho_T(\nu) = \frac{8\pi h\nu^2}{c^3} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

La hipótesis de Planck puede entenderse de la siguiente manera: las ondas electromagnéticas de la cavidad se originan a partir del movimiento oscilatorio de los electrones en las paredes. En las teorías de la física clásica, estos pequeños osciladores deben emitir energía en un continuo de valores, en cambio Planck supuso que un oscilador emite su radiación en forma de paquetes de energía,

$$E = h\nu,$$

$h$  es la constante de Planck ( $6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}$ ) y  $\nu$  es la frecuencia de la radiación.

Por lo tanto, los valores permitidos de la energía de un oscilador deben ser discretos y mientras intercambia energía con la radiación en la cavidad, emite o absorbe energía únicamente en cantidades directamente proporcionales a su frecuencia, los osciladores de baja frecuencia pueden absorber o emitir energía en paquetes pequeños, mientras que los de alta energía emiten paquetes grandes de energía.

Si la cavidad está a baja temperatura, habrá suficiente energía para excitar a los osciladores de baja frecuencia, pero no a los de frecuencia alta. Los osciladores de alta frecuencia necesitan recibir mucha más energía para empezar a radiar en comparación con los de baja frecuencia, es decir, la energía no se distribuye uniformemente para todas las frecuencias. Por lo tanto, las paredes radián principalmente en la región de longitudes de onda larga y muy poco en el ultravioleta. Si se eleva la temperatura de la cavidad, habrá suficiente energía para activar a un número mayor de osciladores de frecuencia alta y la radiación resultante modifica su comportamiento desplazándose hacia el ultravioleta con lo que la expresión de Planck evita la catástrofe ultravioleta.

Un aspecto importante que hay que mencionar es que el valor de la constante de Planck es muy pequeño ( $6.62 \times 10^{-34} \text{ J S}$ ) por lo que las energías involucradas y en general las dimensiones a las que hace referencia corresponden a un comportamiento a nivel atómico.

### VI.3. Los espectros atómicos

En lo que se refiere a los espectros atómicos, fue Niels Bohr, en 1913, quien utilizó la electrodinámica clásica, la hipótesis cuántica de Planck y las ideas de Einstein sobre el efecto fotoeléctrico, lo que se verá más adelante, para proponer un nuevo modelo atómico que explicó satisfactoriamente el espectro de emisión del átomo de Hidrógeno.

Previo a los trabajos de Niels Bohr, en 1884 Johann Jakob Balmer ya había establecido una relación matemática para predecir las longitudes de onda de algunas de las líneas características del espectro del Hidrógeno dada por:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

$\lambda$  es la longitud de onda,  $R$  la constante de Rydberg ( $1.097 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1}$ ) y  $n$  un número entero que toma valores  $n = 1, 2, 3, \dots$

El modelo atómico de Bohr propone que en el átomo de Hidrógeno el electrón gira en torno al núcleo en órbitas circulares definidas tales que el momento angular del electrón es un múltiplo entero de la constante de Planck. Lo cual implica que la energía de los electrones está cuantizada. El electrón no emite radiación electromagnética en estas órbitas, lo que contradice a la teoría clásica del electromagnetismo, resuelve el problema del átomo radiante que debía tenerse en el modelo de Rutherford.

En el modelo de Bohr, a diferencia del de Rutherford, el átomo solo emite o absorbe radiación electromagnética cuando el electrón pasa de una órbita permitida a otra.

La cuantización de la energía en el átomo de Hidrógeno puede ahora describirse como que el átomo solo puede tener ciertos valores permitidos dados por:

$$E_n = - \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 n^2 h^2}$$

con  $m$  la masa del electrón ( $9.1 \times 10^{-31} \text{ Kg}$ ),  $e$  la carga del electrón ( $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ) y  $h$  la constante de Planck.

Cuando el átomo se encuentra su estado base, el número cuántico  $n$  es igual a 1. Los estados excitados posibles están dados por  $n = 2, 3, 4, \dots$

Dado lo anterior, los átomos pueden emitir o absorber energía cuando se da una transición del electrón entre dos órbitas, de mayor a menor o de menor a mayor energía, respectivamente. La energía emitida o absorbida en concordancia con las ideas de Einstein, era igual a la diferencia de energía entre la órbita inicial y final.

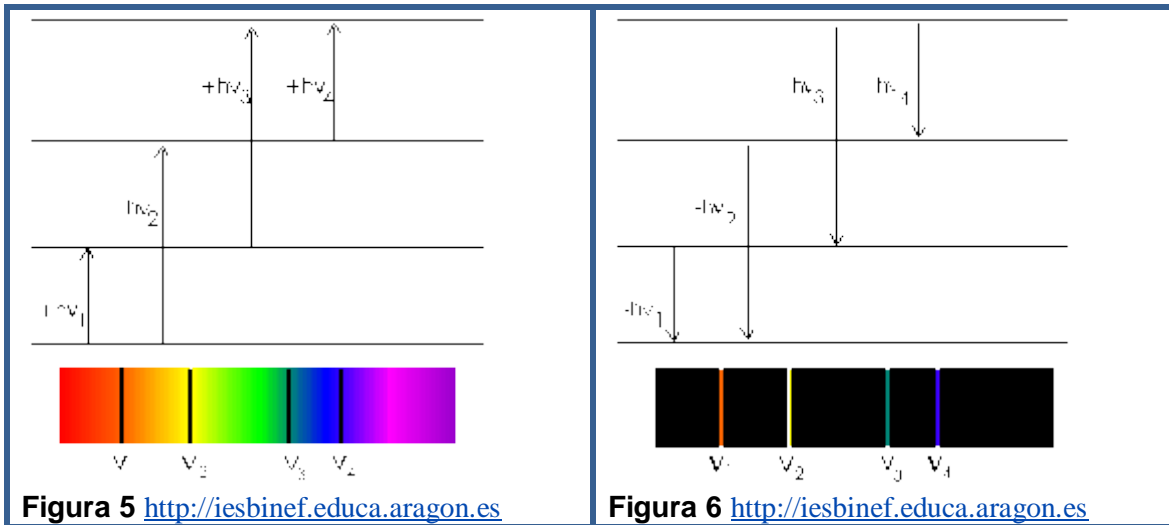
$$h\nu = E_f - E_i$$

Por lo que el electrón absorbía o emitía solo ondas electromagnéticas de frecuencia  $\nu$  determinada, que era mayor si el salto del electrón era mayor.

A continuación, veremos la explicación de Bohr a los espectros atómicos con mayor detalle:

<b>Espectro de absorción</b>	<b>Espectro de emisión</b>
<p>Cuando un átomo es excitado proporcionándole energía al iluminarlo con luz que incluye todas las frecuencias, es posible observar que solo las ondas electromagnéticas de ciertas frecuencias son absorbidas. En el espectro de absorción aparecerá una banda continua con algunas rayas negras (líneas espectrales) que corresponderán a aquellas frecuencias absorbidas y que son precisamente las que tienen la energía necesaria para que los electrones las absorban y puedan pasar de una órbita permitida a otra de mayor energía.</p>	<p>El átomo excitado es inestable, por lo que en un tiempo extremadamente pequeño el electrón que ha sido desplazado a una órbita de mayor energía volverá a una órbita de menor energía, emitiendo una onda electromagnética de frecuencia "<math>\nu</math>" tal que <math>h\nu</math> es el valor de la diferencia de energía entre su estado inicial y el final. Por lo tanto, el espectro de emisión del elemento estará constituido por líneas definidas, situadas en la misma longitud de onda que el espectro de absorción, separadas por zonas oscuras</p>

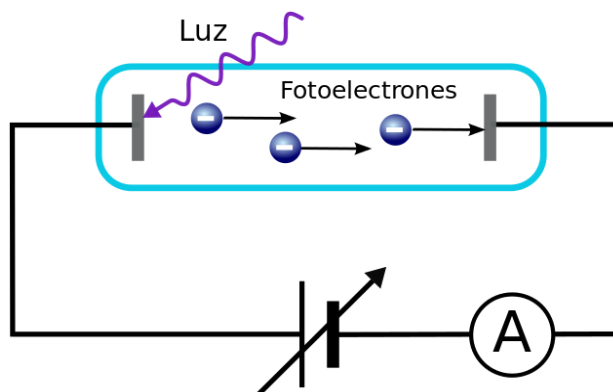




Ahora bien, cabe aclarar que el modelo atómico de Bohr aun presenta algunos problemas, como la restricción a órbitas circulares y su discrepancia con la teoría electromagnética al proponer que en las órbitas permitidas aun cuando el electrón está acelerado no irradia energía. por lo que más adelante surgieron nuevos modelos como el de Sommerfeld-Wilson y finalmente el propuesto por la mecánica cuántica.

#### VI.4. El efecto fotoeléctrico

En 1887, durante sus experimentos para demostrar la existencia de las ondas electromagnéticas, Heinrich Hertz observó que al hacer incidir luz ultravioleta sobre una placa metálica se emiten cargas. En 1888, Halwachs demostró que estas cargas eran negativas y, en 1899, J. J. Thomson demostró que se trataba de electrones, que usualmente se denominan fotoelectrones (Fig. 7).



**Figura 7. El efecto fotoeléctrico<sup>6</sup>**

A esta emisión de electrones obtenida al iluminar una placa metálica se le conoce como efecto fotoeléctrico. Experimentalmente, era posible observar que:

1. *Para cada metal existe una frecuencia de la luz con la que se ilumina la placa (frecuencia umbral) por debajo de la cual, por muy intensa que ésta sea, no se produce la emisión de electrones. Además, la frecuencia umbral es diferente para cada material.*
2. *Si el efecto fotoeléctrico se produce, la intensidad de la corriente eléctrica inducida es proporcional a la intensidad de la luz que ilumina el metal.*
3. *La emisión de electrones no depende de la intensidad de la fuente de luz, sino de su frecuencia.*
4. *La emisión de los electrones es instantánea aun cuando la intensidad de la radiación sea muy baja.*

Estas observaciones no podían explicarse utilizando la física clásica conocida en ese momento. Si recordamos que la luz es una onda electromagnética, entonces, la emisión de electrones debería darse con un cierto tiempo de retraso y no debería depender de la frecuencia sino solamente de la intensidad de la radiación.

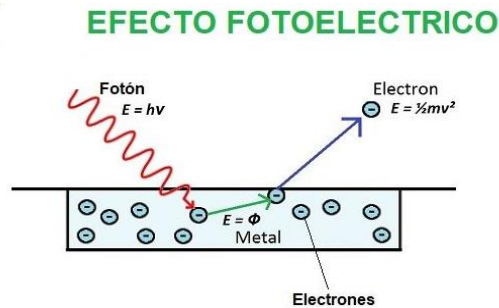
Fue en 1905 que Albert Einstein, basándose en la hipótesis de Planck, propuso una explicación plausible y al mismo tiempo asombrosa. Einstein llegó a la conclusión de que la luz misma está constituida por pequeños paquetes, o cuantos, de energía a los que

<sup>6</sup> <http://teoriaderuedas.com>

posteriormente se les llamó **fotones**. Así pues, la energía de la luz se concentra en estos cuantos, cada uno de los cuales tiene asociada una energía dada por:

$$E = h \nu$$

con  $\nu$  la frecuencia.



**Figura 8. Visualización del efecto fotoeléctrico<sup>7</sup>**

Como se puede ver en la figura 8, no todos los electrones en el interior de la placa están ligados de la misma forma en el metal. Cuando un fotón incide sobre un electrón le transfiere toda su energía, la cual será utilizada por el electrón para salir de la placa. En consecuencia, la energía cinética máxima que pueden tener los electrones emitidos es:

$$K_{max} = h\nu - \phi,$$

donde “ $\phi$ ” es la función trabajo del metal y corresponde a la energía mínima con la que un electrón está enlazado al metal.

Esta expresión y la hipótesis de los cuantos de Einstein explica perfectamente lo que se observa experimentalmente:

Observación	Explicación
<p>Existe una frecuencia umbral por debajo de la cual no se produce emisión de electrones.</p> <p>La frecuencia umbral es diferente para cada material.</p>	<p>De acuerdo con Einstein, la luz con la frecuencia de corte, o frecuencia umbral, tiene justo la energía suficiente para liberar el electrón, pero éste quedará con energía cinética cero. Esto es, la frecuencia umbral es tal que:</p> $h\nu_0 = \phi$

<sup>7</sup> <https://www.areatecnologia.com>

	<p>La luz con una frecuencia menor que la frecuencia de corte no podrá darles suficiente energía a los electrones para escapar del metal.</p> <p>Ahora bien, la frecuencia de corte o frecuencia umbral es diferente para cada material ya que cada uno de ellos tiene una función trabajo diferente.</p>
<p>La energía cinética máxima de los electrones depende de la frecuencia de la radiación y no de la intensidad de la luz</p>	<p>Para una frecuencia fija, un aumento o disminución en la intensidad de la luz incidente significa más o menos fotones, respectivamente, y por tanto más o menos fotoelectrones emitidos. Sin embargo, la intensidad de la luz no afecta a la energía cinética de los electrones.</p> <p>La energía cinética máxima de los electrones únicamente es función de la frecuencia.</p> $K_{max} = h\nu - \phi$
<p>La emisión de los electrones es instantánea aun, cuando la intensidad de la radiación es muy baja.</p>	<p>No existe un retardo ya que la energía en la luz se transporta en paquetes (fotones) y la interacción entre un fotón con un electrón es instantánea.</p>

Para hacer una comparación, se puede decir que el éxito de la teoría corpuscular de Einstein para explicar la interacción entre la luz y los electrones en el efecto fotoeléctrico es como el éxito que tuvo la explicación de los fenómenos de reflexión, interferencia y polarización de la luz en la teoría ondulatoria de la física clásica. Todo esto nos lleva al dilema de si la luz es una onda o una partícula.

Aunque las ideas de Einstein respecto al efecto fotoeléctrico no se aceptaron de momento y tardaron casi veinte años en ser aceptadas, finalmente en 1923 Arthur H. Compton

comprobó dicha teoría en su experimento de dispersión de rayos X conocido como efecto Compton. Con ello dio una evidencia más de la naturaleza dual de la luz.

Actualmente, se acepta que la luz posee características tanto ondulatorias como corpusculares y que ambas características constituyen un enfoque complementario. Pero hay toda una discusión en torno a esta dualidad debido a que hay diferentes puntos de vista para justificarla, pero de esto se hablará más adelante.

### **VI.5. Dualidad onda partícula. Hipótesis de de Broglie**

En 1923, el Físico Francés Louis - Víctor De Broglie planteó que si la radiación electromagnética (luz) presenta una dualidad onda – corpúsculo, entonces una partícula también podría tener un comportamiento dual, es decir, las partículas también tienen propiedades ondulatorias.

De acuerdo con Einstein, el momento lineal de un fotón está dado por

$$p_{fotón} = \frac{h}{\lambda}$$

Despejando la longitud de onda:

$$\lambda = \frac{h}{p_{fotón}}$$

Por analogía, si una partícula como el electrón tiene propiedades ondulatorias, su longitud de onda y su momento lineal deben relacionarse mediante una ecuación similar.

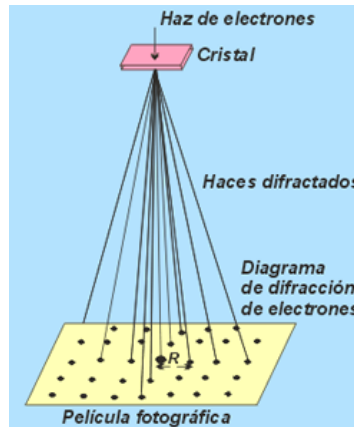
$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

Esta ecuación hace referencia a la llamada longitud de onda de de Broglie.

La hipótesis de de Broglie no fue muy bien recibida, era difícil pensar en que una partícula pudiera presentar fenómenos como la interferencia y la difracción que son característicos de las ondas. El valor tan pequeño de la constante de Planck implica que la longitud de onda de de Broglie es muy pequeña. Para poder comprobar la teoría de de Broglie habría que trabajar a nivel microscópico en donde se tienen masas muy pequeñas.

En 1925, Clinton Davisson y Lester Germer realizaron un experimento de difracción de electrones sobre una superficie de níquel en los laboratorios Bell de New York (Figura 9).

Los datos obtenidos demostraron que los electrones se difractaban de la misma forma que harían ondas electromagnéticas con una longitud de onda igual a la longitud de onda de De Broglie asociada a estos electrones.



**Figura 9. Experimento de Davisson-Germer<sup>8</sup>**

Posteriormente, en 1927 se desarrollaron dos experimentos al mismo tiempo, uno realizado por Davisson y Germer y otro realizado por G.P. Thomson, en los cuales se obtenía el mismo patrón de difracción observado en la difracción de los rayos X para longitudes de onda similares. Estos experimentos darían pie al inicio de lo que ahora llamamos mecánica cuántica.

De acuerdo con Newton, se puede conocer con precisión la trayectoria de una partícula si conocemos su velocidad y su posición inicial (determinismo clásico) y cuando queremos medir con precisión algo de dimensiones muy pequeñas, tratamos de usar instrumentos de medición acorde con dichas dimensiones. Sin embargo, cuando nos referimos a partículas subatómicas en movimiento, como el electrón, con una onda asociada de acuerdo con la hipótesis de de Broglie, y queremos medir su posición y su velocidad de una manera tan precisa como estamos acostumbrados, nos daríamos cuenta de que no es posible porque durante la medición nos enfrentaríamos a cierta incertidumbre que es resultado de dicha medición.

En 1927, Heisenberg postuló que es imposible medir simultáneamente la posición exacta y el momento lineal de una partícula. Si queremos conocer con exactitud la posición de una

---

<sup>8</sup> <https://www2.uned.es>

partícula, entonces aumenta la incertidumbre respecto al conocimiento su momento lineal, esto es

$$\Delta p \cdot \Delta x \geq \frac{h}{2\pi}$$

con  $\Delta p$  y  $\Delta x$  las incertidumbres en el momento lineal y en la posición, respectivamente.

En 1925, Erwin Schrödinger, propuso una ecuación de onda que permitía describir el comportamiento ondulatorio de las partículas propuesto por De Broglie.

Por su parte, Max Born en 1928 afirma que las ondas de materia se pueden describir mediante una función de onda como la propuesta por Schrödinger, y el valor absoluto al cuadrado de dicha función corresponde a la probabilidad de encontrar a una partícula en un punto determinado en un instante de tiempo determinado. En dicha función de onda se puede conocer toda la información respecto a la partícula.

La radiación y su interacción con la materia incluyen una serie de conceptos y teorías fundamentales que explican la estructura de la materia y el comportamiento a nivel atómico y subatómico. El origen de la física cuántica se ubicó como una revolución científica porque parece que desafía los principios fundamentales de la física clásica pero también dio lugar a muchos avances en la ciencia y la tecnología. Las ideas relacionadas con la dualidad onda - partícula son un tema no terminado, existen muchos referentes experimentales y teóricos como la interpretación de Copenhague, en los cuales se pueden ver algunas diferencias de interpretación y la dificultad para ponerse de acuerdo respecto a estas teorías.

En forma breve se puede decir que la interpretación de Copenhague se refiere al primer intento en comprender el comportamiento de los fenómenos que suceden a nivel atómico o subatómico. Entre los años de 1920 a 1940 surge un desacuerdo entre Bohr y Heisenberg que son los personajes principales que participan en esta interpretación junto con Max Born. Todo ello se presenta con la finalidad de establecer una teoría coherente para el formalismo matemático de la mecánica cuántica. Las aportaciones de cada personaje en esta interpretación son: Niels Bohr (con el principio de correspondencia y complementariedad), Werner Heisenberg (el principio de incertidumbre) y Max Born (la función de onda y su interpretación estadística) aunque otros físicos también hicieron contribuciones importantes

como Wolfgang Pauli (el principio de exclusión) y hasta el mismo Einstein dado que sus ideas no coincidían con las de Bohr.

Recordemos que el surgimiento de la física cuántica se le atribuye a Planck que propone la cuantización de la energía e introduce una constante que en la actualidad es muy importante en la explicación de los fenómenos cuánticos. Después Einstein retoma esa idea para explicar la interacción de la radiación con la materia en el efecto fotoeléctrico y posteriormente Bohr presentó un modelo matemático del átomo de Rutherford y dicho modelo permitió explicar los espectros atómicos. Como el modelo presentado por Bohr tenía sus limitaciones, entre los años 1913 a 1925 Bohr y Sommerfeld pudieron mejorar el modelo y con la introducción del spin y el principio de exclusión de Pauli lograron dar una explicación aceptable y coherente de los elementos químicos básicos. En 1925 Heisenberg estableció los principios básicos de la mecánica cuántica con su teoría de matrices reemplazando así las variables clásicas de conmutación, Schrödinger dio una formulación más simple de dicha teoría en la que introdujo una ecuación diferencial de segundo orden para una función de onda y más tarde Max Born propuso una interpretación estadística consistente en la que el cuadrado del valor absoluto de la función de onda expresa una amplitud de probabilidad para el resultado de una medición. Respecto a este resultado de medición hay que mencionar que los fenómenos cuánticos no son observables porque sus estados no pueden rastrearse en el espacio y el tiempo como en la física clásica, por tal razón surge la necesidad de definir en un fenómeno cuántico un estado mediante un cálculo de probabilidad para una medición.

Para finalizar con la interpretación de Copenhague se puede decir que las diferencias en las interpretaciones desencadenan toda una serie de eventos alrededor de justificar la dualidad onda – partícula en especial del electrón y el formalismo matemático para representar o justificar los fenómenos cuánticos acompañado de un desacuerdo entre el uso de los conceptos clásicos en la mecánica cuántica debido a que la física cuántica viola o contradice mucho de los principios fundamentales de la física clásica pero resulta necesario el uso de estos principios para nuestra interpretación de los fenómenos cuánticos.

Nuestra vida se rige por el uso masivo de instrumentos que funcionan a base de los principios fundamentales de la física cuántica. El avance en la tecnología propicia un avance en la ciencia y viceversa. En la actualidad resulta necesario tener un conocimiento



básico que genere conciencia en el uso y abuso de las nuevas tecnologías. Nosotros debemos de conocer los diferentes tipos de radiación que emiten las tecnologías que usamos en nuestras actividades normales, la radiación que emiten los equipos que se usan en la industria principalmente en sistemas de comunicación y en la medicina o en el hogar, de esta manera podemos disminuir o evitar los daños que puedan causar a nuestra salud.

## VII. SECUENCIAS DIDÁCTICAS

### VII.1. Tema 1. Radiación de cuerpos incandescentes. Radiación de cuerpo negro

TIEMPO: 5 horas en laboratorio y 4 horas extra clase

Aprendizajes:

- Describe las características de la radiación térmica que emiten los materiales a alta temperatura.
- Conoce el concepto de radiación de cuerpo negro y la ley de Kirchhoff.
- Utiliza la ley de Stefan Boltzmann para calcular la potencia de radiación que emite un material a alta temperatura.
- Utiliza la ley de desplazamiento de Wien para calcular la longitud de onda máxima en las curvas de distribución de la intensidad de la radiación en relación con la temperatura.
- Conoce las inconsistencias de la explicación a la radiación de cuerpo negro de acuerdo a las leyes de la Física Clásica (Stefan Boltzmann, Wien, Rayleigh – Jeans).
- Conoce la explicación de Planck a la radiación de cuerpo negro.
- Determinar la constante de Planck, mediante el uso de un diodo emisor de luz (LED).
- Elaboración e interpretación de gráficas para determinar la constante de Planck.

Temática:

- Radiación térmica e intensidad de la radiación.
- Radiación de cuerpo negro y su relación con la temperatura.
- Leyes que explican el comportamiento de la radiación de cuerpo negro y sus inconsistencias respecto a los resultados experimentales.
- Explicación de Planck a la radiación de cuerpo negro.
- Metodología de la ciencia.

Ideas previas:

- Los alumnos asocian la radiación con calor y luz principalmente.

- Piensan que para que un material emita radiación debe de estar a alta temperatura.
- La propiedad de emitir radiación es exclusiva del sol o algunos materiales como lámparas y metales a alta temperatura.
- El color de la radiación lo asocian a la naturaleza del material que emite la radiación. Ejemplo: La radiación del sol es de color amarillo y la radiación de la estufa de gas es de color azul porque son sustancias diferentes.
- No ven la Física Cuántica como un cambio necesario frente a las limitaciones de la Física Clásica.
- Desconocen los procedimientos necesarios cuando no coinciden las predicciones de los modelos teóricos con los resultados experimentales.

#### Introducción:

El tema de radiación de cuerpos incandescentes (cuerpo negro), se utiliza como una manera de introducción al estudio de los fenómenos que dieron origen a la física cuántica, debido a las características de dicho fenómeno que no fue posible explicar con las teorías de la física clásica.

Durante el desarrollo de la estrategia se pretende analizar la relación entre la intensidad de la radiación que emite un cuerpo negro y la temperatura.

Se proponen dos actividades experimentales como punto de partida para contextualizar el problema que se presentó al intentar explicar las curvas de distribución de la radiación de cuerpo negro en relación con la temperatura como una forma de propiciar un acercamiento del alumno a los fenómenos de la radiación y al estudio en el que se desarrolla el conocimiento de acuerdo a la naturaleza de las ciencias

Actividad 1 A: En forma cualitativa mediante el uso de un radiómetro y una parrilla eléctrica que permiten observar la intensidad de la radiación que emite la resistencia de alambre de una parrilla eléctrica o de un foco cuando aumenta la temperatura (la velocidad de giro del radiómetro se puede relacionar con la intensidad de la radiación).

Actividad 1 B: En forma cuantitativa mediante el uso de un simulador por computadora, obtener datos de la temperatura para cada color de la radiación que emite un cuerpo negro en el rango del espectro visible y calcular la longitud de onda máxima usando la ley de desplazamiento de Wien.

El estudio de la radiación se realiza tomando como referencia los conocimientos que el alumno ya tiene respecto a las ondas electromagnéticas y su clasificación, que es un tema previo al origen de la física cuántica y, para completar la información, se propone una investigación de los fundamentos teóricos de la radiación que emiten los materiales a alta temperatura, el origen del concepto de la radiación de cuerpo negro, sus características y las leyes que rigen su comportamiento.

Para concluir se realiza una actividad para determinar experimentalmente la constante de Planck mediante el uso de LEDs, con la finalidad de conocer y hacer énfasis en las inconsistencias de la explicación a la radiación de cuerpo negro de acuerdo con las leyes de la física clásica (Stefan Boltzmann, Wien, Rayleigh – Jeans) y las diferencias presentadas en la explicación de Planck y sus consecuencias como el origen de la física cuántica.

APERTURA:

Tiempo: 1 hora en clase y 1 hora extra clase

*Activación de conocimientos previos y planteamiento del problema*

Previo a la actividad se realiza un examen diagnóstico. (Ver anexo 1) en forma individual. Y se puede ver un video para activar conocimientos respecto a las ondas electromagnéticas.

<https://departamentofisicaequimica.wordpress.com/tag/luz/page/3/>

Preguntas generadoras

¿De qué factores depende el color de la radiación que emiten los materiales a alta temperatura? ¿Qué relación hay entre la intensidad de la radiación y la temperatura?

Actividad experimental 1 A:

Intensidad de la radiación y su relación con la temperatura (cualitativa)

Generalmente la radiación térmica la asociamos con calor o luz principalmente, por ello se puede utilizar en la actividad una parrilla eléctrica con resistencia de alambre o un foco de 100 Watts, Una fuente de poder variable de 0 a 120 Volts para controlar el voltaje suministrado a la parrilla o al foco y un radiómetro para medir la intensidad de la radiación en relación con la temperatura cuando aumentamos el voltaje.

### Objetivos:

- Usar un detector de radiación (radiómetro) como indicador del cambio en la intensidad de la radiación cuando aumenta la temperatura.
- Observar el cambio de color e intensidad de la radiación de la resistencia de alambre de una parrilla eléctrica y/o de un foco al aumentar la temperatura.

Nota: Es recomendable dar una explicación breve del funcionamiento del radiómetro.

### Material y equipo:

- Una parrilla casera con resistencia de alambre
- Una extensión con foco de 100 Watts
- Un radiómetro
- Una rejilla de difracción o espectroscopio
- Una fuente de poder variable de 0 a 120 Volts

### Procedimiento:

1. Conectar la parrilla a la fuente de voltaje variable.
2. Encender la fuente manteniendo en cero la perilla del voltaje.
3. Colocar el radiómetro cerca de la parrilla como se muestra en la figura



4. Aumentar el voltaje de modo gradual al girar la perilla y observar el momento en que comienza a girar el radiómetro.

5. Conforme aumenta el voltaje, observar los cambios de color de la radiación que emite la resistencia de alambre. También observar si hay cambios en la velocidad de giro del radiómetro.

6. Escribir sus observaciones para los puntos 4 y 5, y explicar en base a las siguientes preguntas:

¿Hay alguna relación entre la intensidad de la radiación y la velocidad de giro del radiómetro cuando aumenta la temperatura?

¿Hay alguna relación entre la temperatura y el color de la radiación?

También se puede usar el espectroscopio para observar el espectro de la radiación emitida por el alambre de la parrilla, o por un foco conforme aumenta el voltaje. Esto es recomendable para después comparar con los colores en la simulación, por lo menos para el color rojo; y hablar del rango en infrarrojo que no es perceptible a nuestra vista.

Posteriormente se reúnen en equipos de 4 a 6 integrantes para dar respuesta a las preguntas. Después un representante de cada equipo expone sus respuestas en forma oral o escrita. Y para concluir con la actividad hay que llegar a un consenso, ordenar las ideas y esto se puede hacer en el pizarrón a manera de conclusión.

Para finalizar la clase se deja de tarea una investigación respecto a la radiación térmica, radiación de cuerpo negro, secuencia histórica y las leyes que rigen su comportamiento.

Se pueden sugerir las siguientes preguntas como guía:

1. ¿Qué es la radiación térmica?
2. ¿En qué rango del espectro electromagnético se clasifica la radiación de los cuerpos incandescentes?
3. ¿De qué factores depende el color de la radiación que emiten los materiales a alta temperatura?
4. ¿Cómo surge el concepto de cuerpo negro? y ¿A qué se le llama radiación de cuerpo negro?
5. ¿Qué relación hay entre la intensidad de la radiación y el color de la radiación que emite un cuerpo negro al aumentar la temperatura?

6. ¿Cómo explica Stefan Boltzmann el comportamiento de la radiación que emite un cuerpo negro en relación con la temperatura?
7. ¿Cuál es la ley de desplazamiento de Wien para explicar la relación entre la intensidad de la radiación y la temperatura?
8. ¿A qué se le llamó catástrofe ultravioleta de acuerdo a la ley de Rayleigh-Jeans?
9. ¿Fueron suficientes estas leyes para explicar el fenómeno de la radiación de cuerpo negro?. De no ser así, explicar los problemas que se presentaron.
10. Contestar los problemas propuestos.
  - ¿Cuál es la temperatura de la superficie del sol considerando que es un cuerpo negro, si la longitud de onda máxima de la luz emitida es de 480 nm?
  - ¿Cuál es la intensidad de la radiación por unidad de superficie y por unidad de tiempo de un cuerpo negro cuya temperatura es de 3000K? y ¿Cuál es la longitud máxima de onda de la radiación que emite?
  - Los relámpagos producen una máxima temperatura en el aire de  $10^4$  K, mientras que una explosión nuclear produce una temperatura en el orden de  $10^7$  K. Use la ley de desplazamiento de Wien para encontrar el orden de magnitud de la longitud de onda de los fotones producidos térmicamente que se radian con mayor intensidad por cada una de estas fuentes. Menciona la parte del espectro electromagnético donde se puede localizar cada una de las radiaciones mencionadas.

Bibliografía recomendada para el alumno:

Gutiérrez, A. C., (2010) *Física*. México. Ed. Mc. Graw Hill.

El cuerpo negro y la catástrofe ultravioleta.

<http://cpreuni.blogspot.com/2011/02/catastrofe-ultravioleta.html>

DESARROLLO:

Tiempo: 2 horas en clase 2 hora extra clase

Actividad experimental 1 B:

Intensidad de la radiación y su relación con la temperatura (cuantitativa)

Tiempo: 15 a 20 minutos

La parte cuantitativa de la radiación se realiza en internet mediante un programa de simulación.

Preguntas generadoras

¿Qué relación hay entre la intensidad de la radiación que emite un cuerpo negro y la temperatura? ¿Cuáles son las inconsistencias que se presentaron para explicar este fenómeno de acuerdo a las teorías de la física clásica?

Objetivos:

- Usar el simulador que permite obtener datos de la temperatura para cada color del espectro visible de la radiación, y a partir de los datos, determinar la longitud de onda máxima para cada color en función de la temperatura usando la ley de desplazamiento de Wien.
- Observar el espectro visible de la radiación emitida por un cuerpo incandescente.
- Observar el corrimiento hacia el ultravioleta al aumentar el voltaje y, por ende, la temperatura de la radiación.

Materiales y recursos de apoyo:

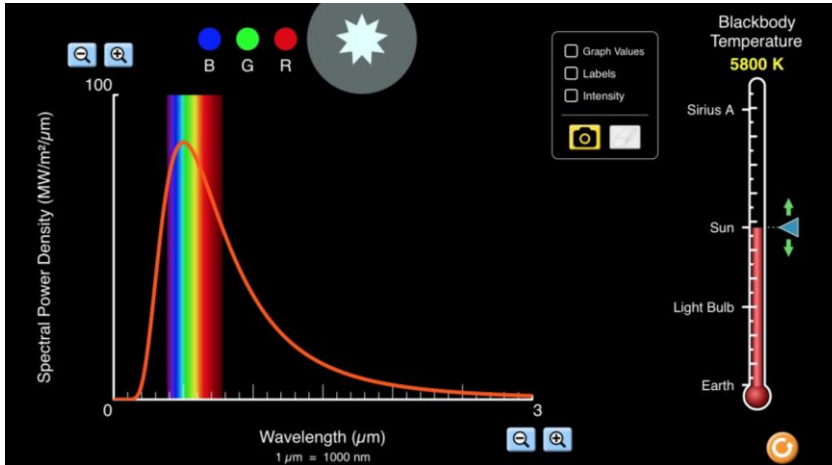
- Computadora con conexión a internet
- Proyector
- Pantalla
- Calculadora

Procedimiento:

En el simulador se muestra una sección correspondiente al espectro visible de la radiación. Junto al termómetro está un cursor que te permite controlar la temperatura del cuerpo que emite la radiación.



Hay que posicionarse en el cursor e ir aumentando gradualmente la temperatura de tal manera que el punto máximo de la curva se localice justo en la línea central correspondiente al color rojo.



<https://phet.colorado.edu/es/simulation/blackbody-spectrum>

En ese momento hay que tomar el dato de la temperatura, la longitud de onda máxima y con la ecuación de la ley del desplazamiento de Wien, calcular la longitud de onda máxima y compara el dato del simulador con el dato teórico, para ese color.

Posteriormente sigue aumentando la temperatura para ubicar el máximo de la curva sobre el color amarillo, y, repetir el procedimiento para cada color.

Registra tus datos en una tabla y compara los resultados de las longitudes de onda de cada color.

Color	Temperatura (K)	Longitud de onda (m) simulador	Longitud de onda $\lambda_{max} = \frac{2.898 \times 10^{-3}}{T}$
Rojo			
Amarillo			
Verde			
Azul			

Hay que propiciar que el alumno observe las curvas del diagrama de intensidad de la radiación vs longitud de onda para cada color y con ello enfatizar en el corrimiento hacia el

ultravioleta de acuerdo con la ley de Rayleigh - Jeans para explicar a qué se refiere la catástrofe de ultravioleta.

Actividad experimental 1 C .

“Determinación de la constante de Planck”

Esta actividad experimental fue realizada en base al formato del libro: Salamanca, J. (2010). Física II para Bachillerato C.C.H. - UNAM

TIEMPO: 1 hora en laboratorio y 2 horas extra clase

### Introducción

En 1900 Max Planck, un científico alemán, se dio a la tarea de estudiar las inconsistencias que se presentaban en la explicación al problema de radiación de cuerpo negro, y desarrolló una expresión teórica que se adaptaba muy bien a la función de la curva experimental obtenida para la intensidad de la radiación emitida por el cuerpo negro en función de la longitud de onda cuando cambia la temperatura.

Para llegar a esta expresión fue necesario abandonar las ideas de la física clásica en especial la teoría electromagnética de Maxwell, e introducir conceptos nuevos como el hecho de que la energía no se emite o absorbe en forma continua sino en forma discreta, es decir, en pequeños paquetes de energía a los que posteriormente se les llamó cuantos.

Es a partir de la hipótesis de Planck que se inicia una serie de eventos que dan origen a la física cuántica

Esta actividad se realiza mediante el uso de LEDs transparentes de diferentes longitudes de onda (rojo, amarillo, verde, azul y violeta), a los cuales se les proporciona gradualmente un voltaje de tal manera que se mide la intensidad de corriente para diferentes voltajes desde que comienza la emisión de luz LED hasta llegar a un máximo de emisión.

A partir de los datos obtenidos se elabora una gráfica de intensidad vs voltaje y con los datos de la gráfica se determina la constante de Planck.

Leer el formato para la actividad experimental y organizar el trabajo en equipos de 4 a 6 alumnos.

Objetivos:

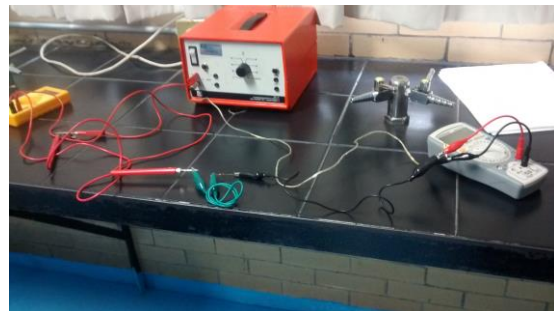
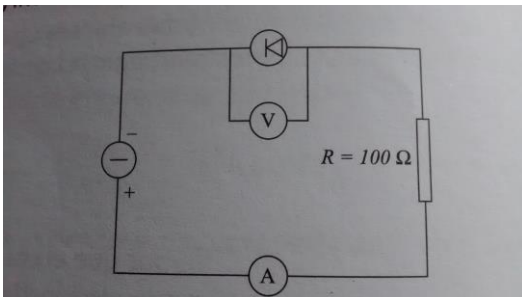
- Determinar la constante de Planck mediante el comportamiento de un diodo emisor de luz (LED) para diferentes colores de luz.

Material y equipo:

- Fuente de corriente directa
- Resistencia eléctrica de 100 Ohm.
- LEDs de diferentes colores (rojo, azul, amarillo, verde)
- Cables y caimanes conectores
- Micro amperímetro
- Voltímetro

Procedimiento:

1. Arma el circuito como se muestra en la figura



Nota: recuerda que el LED permite el paso de corriente en un solo sentido. Si el LED no enciende, invierte la conexión.

2. Enciende la fuente de corriente directa y anota los valores iniciales correspondientes de corriente y voltaje registrados en el amperímetro y voltímetro respectivamente.

3. Puedes iniciar con un voltaje de cero e ir aumentando el voltaje gradualmente (se recomienda de 0.25 en 0.25 volts o menos). Registra los valores correspondientes de voltaje y corriente para cada evento, hasta llegar al máximo de la emisión del LED.

4. Con los datos obtenidos, elabora una gráfica de intensidad de corriente vs voltaje y traza una línea tangente como se muestra en la figura de la página 74).

5. Toma el valor de  $V_0$  como el punto en que corta la tangente con el eje de las abscisas.

Nota:  $V_0$  es el voltaje mínimo para que el LED comience a brillar.

6. Para obtener  $h$  que es la constante de Planck, hay que recordar que  $E = hf$ , despejando tenemos que la constante de Planck se puede interpretar como  $h = \frac{E}{f}$

$E$  es la energía asociada a un fotón (partícula de luz). La energía se puede determinar en función de la longitud de onda, debido a que la frecuencia es  $f = h \frac{c}{\lambda}$

La energía del electrón se puede poner en función del voltaje, entonces  $E = eV$  igualando ecuaciones  $h \frac{c}{\lambda} = eV$  despejando tenemos que:

$$h_c = \frac{eV_0}{c} \lambda$$

donde  $e$ , es la carga del electrón  $1.6 \times 10^{-19}C$

$C$  es la velocidad de la luz en el vacío  $3 \times 10^8$  m/s

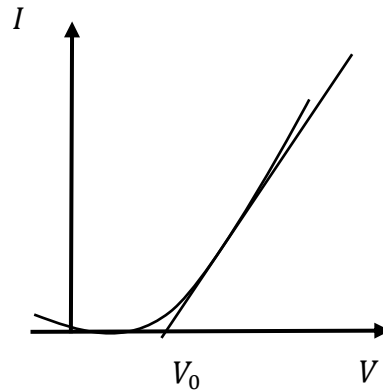
$\lambda$ , es la longitud de onda que corresponde al color la luz del LED

$V_0$  es el voltaje mínimo para que el LED comience a brillar

$h_c$  es la constante de Planck calculada con datos experimentales

7. Determinar la constante de Planck para cada color. Como sugerencia puedes tomar los datos de la longitud de onda máxima determinada con la ecuación de Wien en el experimento anterior.

LED	Longitud de onda
Rojo	625 - 700 nm
Amarillo	560 - 600 nm
Verde	520 - 560 nm
Azul	450 - 500 nm



O también puedes utilizar el valor medio de cada rango en la longitud de onda representativa para cada color de acuerdo a los datos reportados en la bibliografía.

Calcular el porcentaje de error en la medición por medio de la siguiente ecuación:

$$E_p = \frac{h_c - h}{h} \times 100 \%$$

Repita el procedimiento para cada color.

Representa los resultados obtenidos en la siguiente tabla:

Color	$V_0$	$\lambda$	$h_0$	$H$	$E_p$

Anexa las gráficas obtenidas en cada caso

### CIERRE:

Se comentan en plenaria los resultados obtenidos de la actividad experimental. Se pueden complementar con un video

La solución de Max Planck <https://www.youtube.com/watch?v=U9qD1jjRetw>

Max Planck y la teoría de la física cuántica

<https://www.youtube.com/watch?v=bm7FSHokRIA>

Se les solicita que en su casa contesten las preguntas guía y elaboren el reporte correspondiente a la actividad

Preguntas guía para la elaboración del reporte

1. ¿Cómo se complementan la ley de Stefan Boltzmann y la ley de desplazamiento de Wien para explicar el comportamiento de las curvas en la gráfica de intensidad de la radiación vs longitud de onda?
2. De acuerdo a la ley de desplazamiento de Wien ¿cómo explica el desplazamiento de la longitud de onda máxima al aumentar la temperatura? ¿Hacia dónde se desplaza? y ¿Cómo cambia el color de la radiación de acuerdo a este desplazamiento?
3. Con la explicación de Rayleigh –Jeans ¿A qué se le llamó catástrofe del ultravioleta?
4. Indica, Cuáles son las inconsistencias de estas explicaciones con los resultados experimentales.
5. ¿Cuál es la explicación de Planck a la radiación de cuerpo negro?
6. ¿A qué le atribuyes el error cometido al determinar experimentalmente la constante de Planck?
7. ¿Sirvió la teoría de Planck para interpretar otros fenómenos además de la radiación de cuerpo negro?
8. ¿A qué se refiere la palabra “cuánto”?
9. ¿Cómo se relaciona la palabra “cuanto” con la constante de Planck?

Evaluación:

Se evaluará: investigación, trabajo en clase, cuestionarios y reporte de actividad experimental

Bibliografía para el alumno:

1. Gutiérrez, A. C., (2010) *Física*. México. Ed. Mc. Graw Hill.
2. Serway, R. A., Moses, C. J., and Moyer, C.A. (2006). *Física moderna*. México. Ed. Thompson.
3. Tema II Cuántica. Recuperado de:  
[http://www.yoquieroaprobar.es/5\\_bachiller/6/intergranada/Tema\\_11\\_Cuantica.pdf](http://www.yoquieroaprobar.es/5_bachiller/6/intergranada/Tema_11_Cuantica.pdf)
4. Física cuántica segundo de bachillerato. Recuperado de:  
<https://fisquiweb.es/Apuntes/Apuntes2Fis/ResumenFisicaCuantica.pdf>
5. Los tres fenómenos que dieron origen a la física cuántica. Recuperado de:  
[https://www.uv.es/jmarques/\\_private/FisicaCuantica.pdf](https://www.uv.es/jmarques/_private/FisicaCuantica.pdf)

Bibliografía para el profesor:

1. Tema 9. Crisis de la física clásica, introducción a la física moderna. Recuperado de: <https://docplayer.es/75888627-Tema-9-la-crisis-de-la-fisica-clasica-introduccion-a-la-fisica-moderna.html> . Junio de 2019
2. Tema I. Orígenes de la teoría cuántica. Recuperado de: [http://www3.uji.es/~rajadell/index\\_files/IA23/tema1.pdf](http://www3.uji.es/~rajadell/index_files/IA23/tema1.pdf)
3. Física cuántica segundo de bachillerato. Recuperado de: [http://chopo.pntic.mec.es/jmillan/Apuntes\\_power\\_point/optica/fisica%20cuantica.pdf](http://chopo.pntic.mec.es/jmillan/Apuntes_power_point/optica/fisica%20cuantica.pdf)
4. Ejercicios propuestos de física cuántica. Recuperado de: [http://mestreacasa.gva.es/c/document\\_library/get\\_file?folderId=500014137753&name=DLFE-873776.p](http://mestreacasa.gva.es/c/document_library/get_file?folderId=500014137753&name=DLFE-873776.p)

## **VII.2. Tema 2. Estructura de la materia**

### **Modelo atómico de Bohr y espectros atómicos**

TIEMPO: 4 horas en laboratorio y 4 horas extra clase

Aprendizajes:

- Reconoce las modificaciones que Bohr hace al modelo atómico de Rutherford para formular su modelo atómico cuántico.
- Observa algunos espectros atómicos de emisión y utiliza los postulados del modelo atómico de Bohr para explicar las líneas espectrales.
- Conoce las limitaciones del modelo atómico de Bohr para explicar los espectros atómicos.

Temática:

- Modelos atómicos y Estructura de la materia.
- Espectros atómicos.
- Modelo atómico cuántico de Bohr y sus limitaciones.

Ideas previas:

- Los alumnos saben que los modelos se usan para representar la realidad, pero no comprenden la importancia que tienen estas representaciones en la interpretación de las observaciones experimentales y la formulación de teorías.
- La evolución en los modelos atómicos la ven como algo que cambia al cambiar la historia.
- No relacionan el salto cuántico del electrón con la banda de color en el espectro atómico.
- Confunden al electrón y al fotón, ambos los representan como partículas con trayectorias

### Introducción

Se sabe que los materiales a alta temperatura emiten radiación. Con el paso de los años se ha demostrado que el estudio del espectro de la radiación que emiten estos materiales nos da información acerca de su estructura atómica.

En este tema, se realiza una investigación de los diferentes modelos atómicos, hasta el modelo atómico de Bohr. Se analiza la información de cada modelo para explicar la estructura de la materia y sus deficiencias haciendo énfasis en el modelo atómico de Rutherford. Después es necesario conocer las teorías que Bohr tomó en cuenta para formular su modelo atómico. Posteriormente se realiza una discusión a manera de plenaria sobre el por qué se dice que el modelo atómico de Bohr es un modelo cuántico, se plantean los postulados del modelo atómico cuántico de Bohr y la forma en cómo se usan estos postulados para explicar el espectro atómico del hidrógeno.

Se incluyen videos que expliquen qué son los espectros atómicos, el modelo atómico de Bohr, sus postulados y limitaciones etc.

Se realiza una actividad experimental (cualitativa), para observar los espectros de emisión de diferentes gases en un tubo de descarga, entre ellos el de hidrógeno, He, Ne, N, Hg. Con la finalidad de detectar las diferencias en las líneas espectrales de cada uno.

Se realizan ejercicios de lápiz y papel a manera de ubicar las líneas espectrales del átomo de hidrógeno, y conocer las limitaciones del modelo atómico de Bohr para explicar otros espectros.



En la elaboración del reporte de la actividad experimental se incluye una guía para la interpretación de resultados y un cuestionario, que plantea la relación entre la teoría y el experimento al comparar los resultados experimentales con los que propone el modelo de Bohr. Como conclusión se pide mencionar la trascendencia del modelo atómico de Bohr en la evolución de la ciencia y la tecnología.

### APERTURA

En sesión previa se pide a los alumnos realizar una investigación de los diferentes modelos atómicos hasta el átomo de Bohr y elaborar un cuadro sinóptico que contenga: el nombre del científico, la nacionalidad, el año, la descripción del modelo, una imagen y lo más importante, los experimentos realizados para fundamentar cada modelo atómico. Se pueden recomendar los siguientes enlaces que contienen la suficiente información para elaborar el cuadro sinóptico.

<https://misuperclase.com/modelos-atomicos/>

<http://dcb.ingenieria.unam.mx>

También se puede recomendar la siguiente lectura como base para el tema (páginas 29 a 41) porque hace una reseña de los descubrimientos y las teorías relacionadas que hemos estado trabajando y contiene la información necesaria de los espectros atómicos y modelo atómico de Bohr que se trabajarán durante la actividad experimental.

<https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448191544.pdf>

### DESARROLLO:

Preguntas generadoras: ¿Qué son los espectros atómicos?, ¿Qué información podemos obtener de ellos? y ¿Cómo explica el modelo atómico de Bohr los espectros atómicos?

Se revisa la investigación y se proyectan uno o dos videos de corta duración que explican los espectros atómicos de emisión y absorción y el modelo atómico de Bohr, como una forma de introducción para el desarrollo de la actividad experimental. Entre ellos pueden ser: <https://www.youtube.com/watch?v=ojhXypj5qvQ>

[https://www.youtube.com/watch?v=DE2\\_sES1Ozk](https://www.youtube.com/watch?v=DE2_sES1Ozk)

## Actividad experimental 2 A “Espectros atómicos en tubos de descarga” (cualitativa)

### Objetivo:

- Observar los espectros de emisión de gases en un tubo de descarga

### Materiales y equipo:

- Fuente de alto voltaje con base para tubos espectrales.
- Tubos de gases (hidrógeno, helio, neón, nitrógeno).
- Espectroscopio

### Procedimiento:

1. Coloca el tubo de descarga de hidrógeno en la fuente de alto voltaje con base para tubos espectrales.
2. Enciende la fuente de alto voltaje para observar el color de la luz que emite el hidrógeno.
3. Usa el espectroscopio para observar el espectro de emisión del átomo de hidrógeno y de ser posible ubica el orden de las líneas espectrales y el color correspondiente a cada línea.
4. Elabora un dibujo del espectro observado en cada caso.
5. Repite el procedimiento 1 a 4 para diferentes tubos de descarga (nitrógeno, helio, neón etc.)
6. Compara los espectros observados con los reportados en la bibliografía

## Actividad experimental 2 B “Espectros atómicos en tubos de descarga” (Cuantitativa).

(Actividad opcional dependiendo de la disposición del equipo y espacio en los laboratorios SILADIN). Esta actividad fue trabajada en seminario de profesores de Física en el plantel Naucalpan en 2017

### Objetivo:

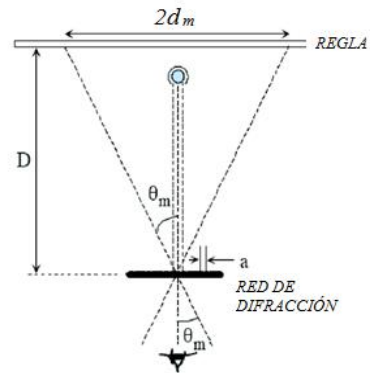
- Determinar las longitudes de onda de las líneas del espectro de emisión de un tubo de descarga.

### Materiales y equipo:

- Fuente de alto voltaje con base para tubos espectrales.
- Tubos de gas (hidrógeno, helio, neón, nitrógeno).
- Dispositivos para rayo láser y rayo laser
- Rejilla de difracción con base
- Pantalla
- Cinta métrica o fluxómetro
- Soporte universal
- Marcador de agua

Procedimiento:

1. Con ayuda del profesor, los alumnos montan el equipo como se muestra en la figura.



2. Previo a encender el tubo de descarga, se coloca un láser alineado con la rejilla de difracción de tal manera que se pueda observar en la pantalla el centro y el primer máximo en ambos lados y con ayuda del experimento de Young y conociendo la longitud de onda del láser, se puede determinar la distancia que hay entre dos líneas de la rejilla de difracción.
3. Una vez que se conoce " $d_m$ " hay que colocar el tubo de gas con su base frente al haz de luz y alinear como de muestra en la figura.
4. Apagar y retirar el láser.
5. Encender la fuente de alto poder para observar el espectro de emisión del gas.

6. Medir las distancias de las bandas del espectro de emisión del hidrógeno y calcular su longitud de onda. También se puede utilizar un teléfono celular para obtener una fotografía de una imagen virtual en la rejilla de difracción de las líneas espectrales.



7. Con los datos obtenidos en la actividad experimental llenar la siguiente tabla y comparar con los datos teóricos del modelo atómico de Bohr.

<b>Línea espectral</b>	<b>Longitud de onda medida en forma experimental</b>	<b>Longitud de onda calculada con el modelo atómico de Bohr</b>
Línea Roja		
Línea verde-azul		
Línea violeta		

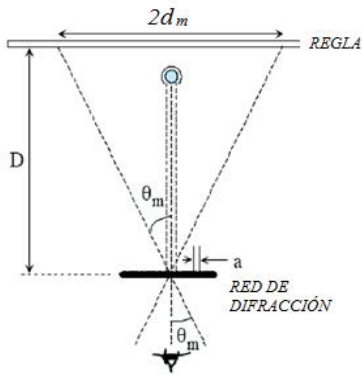
8. Repetir la actividad experimental cambiando con precaución los diferentes tubos de descarga de los elementos disponibles (He, Ne, N, Hg) y, de ser posible, tomar fotografía de las líneas espectrales para cada uno.

Nota: ya no es necesario realizar mediciones.

9. Con base a lo observado de la actividad experimental en sus diferentes etapas, en los videos, en la investigación documental y el cuestionario guía, elaborar el reporte correspondiente.

Información necesaria para determinar la longitud de onda de las líneas espectrales

Una vez que observas la posición de cada línea espectral a través de la rejilla como se muestra en el diagrama, hay que medir la distancia entre las dos líneas espectrales para el mismo color ( $2d_m$ ), situadas simétricamente a izquierda y derecha del tubo. También es necesario medir la distancia entre la pantalla y la rejilla de difracción, ( $D$ ).



Las longitudes de onda de las líneas espectrales se pueden calcular con las siguientes ecuaciones:

$$\lambda_m = a \sin(\theta_m)$$

$$\lambda_m = a \frac{d_m}{\sqrt{d_m^2 + D^2}}$$

donde "m" es el orden de difracción; "a" es la distancia entre rendijas de la rejilla de difracción y " $\theta_m$ " es el ángulo de proyección de la línea, " $d_m$ " es la distancia del punto medio a la línea y "D" es la distancia entre la red de difracción y la pantalla.

Primero que nada, "a", la obtenemos a partir de la información de la red de difracción, que indica que tiene 600 líneas por mm (por ejemplo; identifique en su rejilla el valor de líneas por mm y realice los cálculos de forma equivalente).

Entonces:

$$a = \frac{1 \text{ mm}}{600 \text{ líneas}} = \frac{0.001 \text{ m}}{600} = 1.66 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$a = 1.66 \times 10^{-6} \text{ m}$$

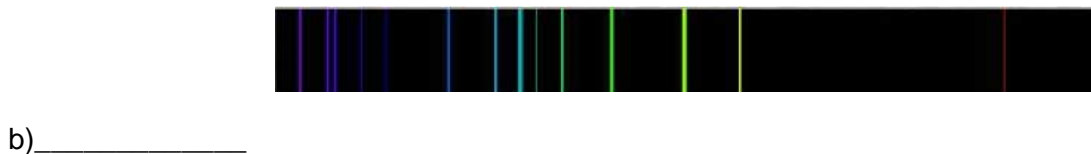
Luego se obtiene " $\theta_m$ " a partir de las razones trigonométricas. Gracias al esquema podemos darnos cuenta que para cada línea espectral se forma un triángulo rectángulo del cual poseemos el cateto opuesto " $d_m$ " (distancia del punto medio a la línea) y cateto adyacente " $D$ " (distancia entre la pantalla y la red de difracción), es decir podemos usar tangente. " $\theta_m$ " Es diferente para cada color, pero el proceso de obtención es el mismo.

CIERRE:

Se comentan en plenaria los resultados obtenidos de la actividad experimental.

Contesta las siguientes preguntas:

1. La siguiente figura muestra los espectros de emisión y absorción para la plata. Escribe sobre la línea el nombre que corresponde a de cada espectro.



2. ¿Cuáles son las diferencias y semejanzas que puedes establecer entre los espectros de absorción y emisión del mismo átomo?

3. ¿Por qué crees que es importante estudiar los espectros de los distintos átomos?

4. ¿Por qué los espectros de absorción muestran casi todos los colores del arco iris?

5. ¿Por qué el espectro de emisión sólo muestra algunos colores?
6. Investiga cuál es la explicación que hace Bohr al espectro de emisión y absorción de acuerdo a su modelo atómico (Ver anexo 4).
7. Menciona 2 investigaciones que Bohr consideró como base para su explicación de los espectros atómicos y fundamentar su modelo del átomo.
8. Cuáles fueron las inconsistencias que presentó el modelo atómico de Bohr y cómo fueron corregidas.

Bibliografía para el alumno:

1. Kirkpatrick, L. D. & Francis, G. E. (2011). *Física. Una mirada al mundo*. Traducción Martínez S. M. México. SENGAGE Learning.
2. Gutiérrez, A. C., (2010) *Física*. México. Ed. Mc. Graw Hill.
3. Serway, R. A., Moses, C. J., and Moyer, C.A. (2006). *Física Moderna* Ed. Thompson. México.
4. Departamento de Física aplicada, Universidad de Cantabria. *Introducción a la Física Experimental. Guía de la experiencia. Espectros de emisión atómicos*. Febrero 28, 2005.
5. Pérez, Guillermo. *Espectro electromagnético*. Recuperado de: [http://www.espectrometria.com/espectro\\_electromagnitico](http://www.espectrometria.com/espectro_electromagnitico)
6. Estructura atómica. Recuperado de: [http://www3.uah.es/edejesus/resumenes/EQEM/tema\\_1.pdf](http://www3.uah.es/edejesus/resumenes/EQEM/tema_1.pdf)
7. Los tres fenómenos que dieron origen a la física cuántica. Recuperado de: [https://www.uv.es/jmarques/\\_private/FisicaCuantica.pdf](https://www.uv.es/jmarques/_private/FisicaCuantica.pdf)
8. Tema II Cuántica. Recuperado de: [http://www.yoquieroaprobar.es/5\\_bachiller/6/intergranada/Tema\\_11\\_Cuantica.pdf](http://www.yoquieroaprobar.es/5_bachiller/6/intergranada/Tema_11_Cuantica.pdf)
9. Física cuántica segundo de bachillerato. Recuperado de: <https://fisquiweb.es/Apuntes/Apuntes2Fis/ResumenFisicaCuantica.pdf>
10. Ejercicios propuestos de física cuántica. Recuperado de: [http://mestreacasa.gva.es/c/document\\_library/get\\_file?folderId=500014137753&name=DLFE-873776.p](http://mestreacasa.gva.es/c/document_library/get_file?folderId=500014137753&name=DLFE-873776.p)

Bibliografía para el profesor:

1. Serway, R. A., Moses, C.J., and Moyer, C.A. (2006). *Física moderna* Ed. Thompson. México.
2. Departamento de Física aplicada, Universidad de Cantabria. *Introducción a la Física Experimental. Guía de la experiencia. Espectros de emisión atómicos.* Febrero 28, 2005.
3. Tema 9. Crisis de la física clásica, introducción a la física moderna. Recuperado de: <https://docplayer.es/75888627-Tema-9-la-crisis-de-la-fisica-clasica-introduccion-a-la-fisica-moderna.html> . Junio de 2019
5. Estructura del átomo. Recuperado de: <http://rsefalicante.umh.es/TemasAtomo/Estructura-atomo.pdf>
6. Tema I. Orígenes de la teoría cuántica. Recuperado de: [http://www3.uji.es/~rajadell/index\\_files/IA23/tema1.pdf](http://www3.uji.es/~rajadell/index_files/IA23/tema1.pdf)
7. Física cuántica segundo de bachillerato. Recuperado de: [http://chopo.pntic.mec.es/jmillan/Apuntes\\_power\\_point/optica/fisica%20cuantica.pdf](http://chopo.pntic.mec.es/jmillan/Apuntes_power_point/optica/fisica%20cuantica.pdf)

### **VII.3. Tema 3. Interacción radiación materia. Efecto fotoeléctrico**

TIEMPO: 2 horas en laboratorio y 2 horas extra clase

Aprendizajes:

- Describe el efecto fotoeléctrico, su origen, y las características que no se pueden explicar mediante las teorías de la física clásica.
- Conoce la explicación de Einstein al efecto fotoeléctrico y su trascendencia respecto al origen de la física cuántica.

Temática:

- Efecto fotoeléctrico y sus características
- Cuantización de la energía
- Dualidad onda – partícula



Ideas previas:

- Hay dificultades en entender el concepto de fotón.
- Electrón y fotón son partículas (confunden los fotoelectrones con los fotones)
- Interpretan erróneamente la dualidad onda partícula.
- Se les dificulta entender que es el voltaje de frenado

Introducción:

En 1887 Heinrich Hertz, al tratar de comprobar la teoría electromagnética de Maxwell, descubrió que cuando se hace incidir radiación con longitud de onda corta (ultravioleta), sobre una placa metálica previamente cargada, se pueden desprender electrones; a este efecto se le llamó efecto fotoeléctrico.

El efecto fotoeléctrico es uno de los experimentos que no fue posible explicar con las leyes de la física clásica. Dada su importancia, el diseño de la secuencia didáctica está planeado con dos fines:

Primero, la parte histórica y las dificultades para explicar el efecto fotoeléctrico usando para ello el experimento de Heinrich Hertz. Y luego una dinámica para conocer las características del efecto fotoeléctrico que puede incluir la realización del experimento con luz ultravioleta en forma cualitativa.

Segundo, mediante el uso de un simulador, reproducir el efecto fotoeléctrico y hacer un análisis de la parte conceptual que resulta difícil para la comprensión de los alumnos mediante la observación del fenómeno, obtención de datos, elaboración e interpretación de gráficas y resolución de ejercicios de lápiz y papel.

## APERTURA

TIEMPO: 2 horas en laboratorio y 2 horas extra clase

Preguntas generadoras:

¿Qué es el efecto fotoeléctrico? ¿Quién lo descubrió y en qué año? Y ¿Cuáles son las características que no fue posible explicar con las leyes de la física clásica?

Previo a la actividad se deja a los alumnos hacer una investigación para explicar en qué consiste el experimento de Heinrich Hertz, cuándo lo propuso y cuál era la finalidad del experimento.

### Actividad experimental 3 A: “Experimento de Heinrich Hertz”

Objetivos:

- Reproducir el experimento de Heinrich Hertz en el laboratorio

El experimento se propone como una forma analizar la finalidad del experimento, ubicar al alumno en el contexto histórico y ver cuáles son las características del experimento que no fue posible explicar con las teorías de la física clásica.

Material y equipo de laboratorio:

4 pinzas para ropa de madera o plástico

2 hojas de papel aluminio

Cables de conexión de caimán

Un foco de luz de neón

Cuatro varillas de metal de 15 cm cada una

Un encendedor casero

Procedimiento:

Para iniciar con la actividad, primero se realiza un consenso en el grupo mediante la explicitación de ideas. Posterior a ello se realiza el experimento de Heinrich Hertz. Para ello se proyecta un video con las instrucciones del experimento.

<https://youtu.be/NmoYRdheRVY>



Después del experimento se pide contestar las preguntas guía, sus antecedentes y consecuencias: y se puede realizar el experimento del efecto fotoeléctrico con luz ultravioleta de manera cualitativa.

### Actividad experimental 3 B: "efecto fotoeléctrico con luz ultravioleta"

Objetivos:

- Observar la descarga de una placa metálica cuando se ilumina con luz ultravioleta.
- Comprender que la física clásica funciona con los modelos de partícula y onda deterministas, que no pueden explicar una serie de experiencias.

Material y equipo:

- Placa metálica de aluminio
- Electroscopio con escala
- Barra de plástico
- Una franela
- Lija suave para metal

Procedimiento:

1. Lija finamente la placa de aluminio para eliminar impurezas o grasa.
2. Coloca la placa sobre el conector del electroscopio y fíjala para que haga contacto.
3. Electriza la barra de plástico con la franela.
4. Electriza la placa metálica por contacto con la barra y observa la ubicación de la aguja en la escala.

5. Coloca la lámpara a una distancia corta sobre la placa metálica como se ilustra en la figura.
6. Enciende la lámpara y observa lo que sucede con la aguja del electroscopio.
7. De ser necesario repite el procedimiento para observar el fenómeno y explicar lo que sucede.



Nota: Por cuestiones de disposición de equipo esta actividad se puede realizar con una extensión con foco y filtros de color con papel celofán.

El procedimiento se puede repetir con luz de otro color como amarilla o roja para ver en qué condiciones se puede producir el efecto fotoeléctrico.

La actividad tiene una orientación cualitativa y la finalidad es reproducir y observar el fenómeno.

### Actividad experimental 3 C: “Efecto fotoeléctrico mediante un simulador por computadora”

#### Objetivos:

- Usar un simulador para observar la emisión de electrones de diferentes materiales.
- Observar la relación entre intensidad de la radiación y el número de electrones expulsados por la placa (forma cualitativa) en el simulador.
- Obtener datos de la longitud de onda o frecuencia de la radiación, para la cual se logra la emisión de electrones en cada metal (dos metales diferentes para cada equipo).
- Determinar la relación entre la energía cinética máxima de los electrones y la frecuencia de la radiación.

#### Material y equipo

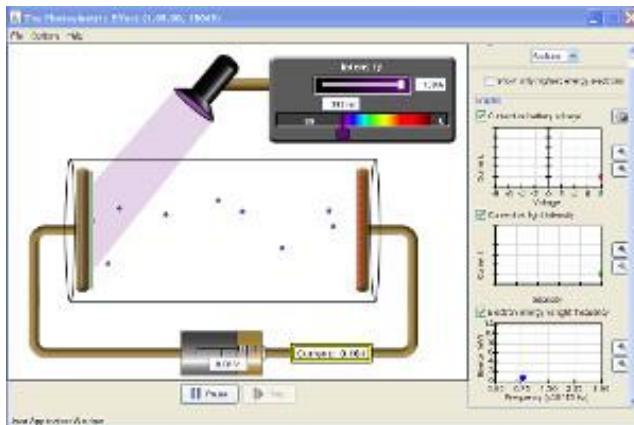
- Computadora con acceso a internet.
- Calculadora

- Hojas milimétricas

Procedimiento:

En la página: [www.educaplus.org/play-112-efecto-fotoelectrico.html](http://www.educaplus.org/play-112-efecto-fotoelectrico.html)

1. selecciona el experimento del efecto fotoeléctrico.
2. El simulador te pide ver el video de la explicación del experimento.
3. Al finalizar el video selecciona ir a experimento.



4. En el experimento, selecciona el metal, después la intensidad de la luz con el cursor en un 50%, en la pila puedes marcar un voltaje fijo (se sugiere 1 volt).
5. Mueve el cursor de la radiación, del rojo hacia el ultravioleta hasta el momento en que se observe la emisión de electrones. Mueve el cursor de la intensidad de la radiación y observa lo que sucede con la corriente en el circuito. Escribe tus observaciones. ¿Qué relación hay entre la corriente y la intensidad de la radiación? ¿Qué relación hay entre la intensidad de la radiación y el número de electrones que salen expulsados de la placa?
6. Repite el procedimiento del punto 4 y mueve el cursor de la radiación del rojo hacia el ultravioleta cuidando observar justo el momento en el que inicia la emisión de un electrón. Registra el dato de la longitud de onda (con este dato puedes obtener la frecuencia en el umbral o la función de trabajo  $W$ ).

$$f_0 = \frac{c}{\lambda_0} \qquad W = hf_0 \qquad W = h\frac{c}{\lambda_0}$$

7. Para obtener más datos sobre la frecuencia, sigue moviendo el cursor en dirección al ultravioleta y registra tres o cuatro datos más de longitud de onda en la que se presenta la emisión de electrones para ese metal.

8. Con los datos obtenidos calcula la frecuencia que corresponde a cada longitud de onda y la energía máxima de los electrones:
9.  $f = \frac{c}{\lambda}$                        $E_{c\ Max} = hf - hf_0$
10. Recuerda que  $h$  es la constante de Planck =  $6.62 \times 10^{-34}$
11. Elabora la gráfica de frecuencia vs energía cinética máxima de los fotoelectrones.
12. Repite los procedimientos del 4 al 9 para un metal diferente.
13. ¿Qué semejanzas, y diferencias muestran las gráficas de los dos metales?

### CIERRE:

Se comentan en plenaria los resultados obtenidos de la actividad experimental.

Se hace énfasis en las características particulares del efecto fotoeléctrico como son:

- *Para cada metal existe una frecuencia de la luz (frecuencia umbral) por debajo de la cual, por muy intensa que esta sea, no se produce emisión.*
- *Si el efecto se produce, la intensidad de la corriente eléctrica producida es proporcional a la intensidad de la luz que ilumina el metal.*
- *La velocidad de los electrones no depende de la intensidad de la luz, sino de su frecuencia.*

Lectura <https://www.google.com.mx/url> Efecto Fotoeléctrico

<http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/3000/3241/html/2efectofotoelctrico.html>

Preguntas Guía para elaboración del reporte:

1. ¿Qué es el efecto fotoeléctrico?
2. ¿Cuáles son las características del efecto fotoeléctrico que no fue posible explicar con las teorías de la física clásica?
3. Menciona dos científicos que contribuyeron en la investigación del efecto fotoeléctrico.
4. ¿Cuál fue la explicación de Einstein al efecto fotoeléctrico?
5. ¿Qué relación hay entre intensidad de la radiación y el número de electrones expulsados? Explique.

6. ¿Qué relación hay entre la frecuencia de la radiación y la energía cinética máxima de los electrones expulsados de la placa metálica?
7. ¿A qué se le llama frecuencia umbral?
8. ¿A qué se le llama función trabajo o trabajo de extracción?
9. ¿Cuáles son los usos y aplicaciones del efecto fotoeléctrico en la ciencia la tecnología y la sociedad?

Nota: Si el simulador propuesto no funciona, se puede sugerir uno similar

<https://www.google.com.mx/url>



Evaluación:

- Trabajo en laboratorio y en sala de cómputo
- Participación en montaje y desarrollo de actividad experimental.
- Cuestionario Final
- Reporte escrito

#### Bibliografía para el alumno:

1. Gutiérrez, A. C., (2010) *Física*. México. Ed. Mc. Graw Hill.
2. Serway, R. A., Moses, C. J., and Moyer, C.A. (2006). *Física moderna* Ed. Thompson. México.
3. Los tres fenómenos que dieron origen a la física cuántica. Recuperado de:  
[https://www.uv.es/jmarques/\\_private/FisicaCuantica.pdf](https://www.uv.es/jmarques/_private/FisicaCuantica.pdf)
4. Tema II Cuántica. Recuperado de:  
[http://www.yoquieroaprobar.es/5\\_bachiller/6/intergranada/Tema\\_11\\_Cuantica.pdf](http://www.yoquieroaprobar.es/5_bachiller/6/intergranada/Tema_11_Cuantica.pdf)
5. Física cuántica segundo de bachillerato. Recuperado de:  
<https://fisquiweb.es/Apuntes/Apuntes2Fis/ResumenFisicaCuantica.pdf>
6. Ejercicios propuestos de física cuántica. Recuperado de:  
[http://mestrealcasa.gva.es/c/document\\_library/get\\_file?folderId=500014137753&name=DLFE-873776.p](http://mestrealcasa.gva.es/c/document_library/get_file?folderId=500014137753&name=DLFE-873776.p)

#### Bibliografía para el profesor:

1. Serway, R. A., Moses, C. J., and Moyer, C.A. (2006). *Física moderna* Ed. Thompson. México.
2. Tema 9. Crisis de la física clásica, introducción a la física moderna. Recuperado de:  
<https://docplayer.es/75888627-Tema-9-la-crisis-de-la-fisica-clasica-introduccion-a-la-fisica-moderna.html> . Junio de 2019
3. Dualidad onda corpúsculo guías de apoyo. Recuperado de
  - a. [http://www.guiasdeapoyo.net/guias/cuart\\_fis\\_c/Dualidad%20onda%20corpúsculo%20%20de%20B](http://www.guiasdeapoyo.net/guias/cuart_fis_c/Dualidad%20onda%20corpúsculo%20%20de%20B) . Junio de 2019.
4. Efecto fotoeléctrico. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/104/10413309.pdf>
5. Tema I. Orígenes de la teoría cuántica. Recuperado de:
  - a. [http://www3.uji.es/~rajadell/index\\_files/IA23/tema1.pdf](http://www3.uji.es/~rajadell/index_files/IA23/tema1.pdf)
6. Física cuántica segundo de bachillerato. Recuperado de:  
[http://chopo.pntic.mec.es/jmillan/Apuntes\\_power\\_point/optica/fisica%20cuantica.pdf](http://chopo.pntic.mec.es/jmillan/Apuntes_power_point/optica/fisica%20cuantica.pdf)



## VII.4. Tema 4. Interacción de la radiación con la materia.

### Dualidad onda – partícula “Hipótesis de de Broglie”

Tiempo: 2 horas en clase 2 horas extraclase.

Aprendizajes:

- Conoce algunos fenómenos físicos que la física clásica no pudo explicar
- Conoce el comportamiento cuántico de los electrones
- Investiga y reproduce el fenómeno de difracción de electrones
- Utiliza la hipótesis de de Broglie en la interpretación del fenómeno de difracción de electrones.
- Consecuencias de la hipótesis de de Broglie

Temática:

- Dualidad onda - partícula.
- Hipótesis de de Broglie.

Ideas previas:

- El fenómeno de difracción e interferencia no es algo que esté muy definido para los alumnos, por tal motivo es necesario, dar un repaso al experimento de Young. Y de ser necesario al final de la actividad comentar sobre el experimento de la doble rendija.

Introducción:

A manera de ejemplo podríamos decir que Louis de Broglie en 1923, tomando como base uno de los postulados de Bohr, propuso que el electrón tenía propiedades ondulatorias.

El razonamiento de de Broglie fue que, si las partículas tenían propiedades ondulatorias además de las propiedades características de una partícula, entonces la longitud de onda de las partículas era proporcional a su cantidad de movimiento.

Refiriendo esto a los fotones:

$$P_{\text{fotón}} = \frac{h}{\lambda} \quad \text{Despejando tenemos que:} \quad \lambda = \frac{h}{P_{\text{fotón}}}$$

Por analogía si una partícula como el electrón tiene propiedades ondulatorias, quizás su longitud de onda y su ímpetu lineal podían relacionarse mediante una ecuación similar.

$$\text{Longitud de onda de de Broglie:} \quad \lambda = \frac{h}{P}$$

donde  $h$  es la constante de Planck, y  $P$  es el ímpetu lineal del electrón

La cantidad de movimiento ( $P = m v$ ) de los electrones.

Si la energía de un electrón acelerado es:

$$\frac{1}{2} m v^2 = V e$$

Entonces el ímpetu se puede representar por:

$$P = m v = \sqrt{2 V m e}$$

Donde  $V$  es la diferencia de potencial en que se acelera el haz.

Si la longitud de onda de de Broglie es:

$$\lambda = \frac{h}{P}$$

Entonces, la longitud de onda también se puede calcular:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2 V m e}}$$

Una prueba de la teoría de de Broglie fue, el experimento realizado por los físicos Clinton J Davisson y Lester H Germer en 1927.

APERTURA:

Tiempo: 2 horas en clase 2 horas extra clase.

Preguntas generadoras:

Si el electrón tiene un comportamiento dual onda-partícula: ¿Cómo puedo mostrar la propiedad ondulatoria del electrón? ¿Es posible realizar un experimento en el laboratorio? ¿En qué condiciones?

Después de una discusión grupal se presenta el video de la difracción de electrones. Y posterior a ello el formato para realizar la actividad.

[https://www.uv.es/inecfis/QPhVL/p1/p1\\_intro.html](https://www.uv.es/inecfis/QPhVL/p1/p1_intro.html)

[https://www.youtube.com/watch?v=7\\_vjkmY-NTY](https://www.youtube.com/watch?v=7_vjkmY-NTY)

Es necesario permitir que los alumnos lean el formato de la actividad experimental para:

Elaborar una lista de la información que necesitan conocer como requisito para realizar la actividad.

Formular las preguntas necesarias respecto al uso del equipo en el laboratorio y las precauciones que se deben de tener en el manejo de equipo y en la toma de datos.

#### DESARROLLO:

##### Actividad experimental 4 A:

##### “Difracción de electrones en una red policristalina de grafito”

Nota: Esta actividad se realiza en SILADIN, previamente el profesor realiza el montaje del equipo, y el formato de la actividad experimental publicado en <https://fisicaexpdemostrativos.uniandes.edu.co/PDF>. Para el manejo de datos de los alumnos. Los alumnos con la supervisión del profesor son los que deben de controlar el equipo para medir obtener sus datos y hacer el análisis de resultados.

Se trabaja con equipos de 4 a 6 alumnos por cada medición, siempre con supervisión del profesor.

Objetivos:

- Determinación de la longitud de onda de los electrones

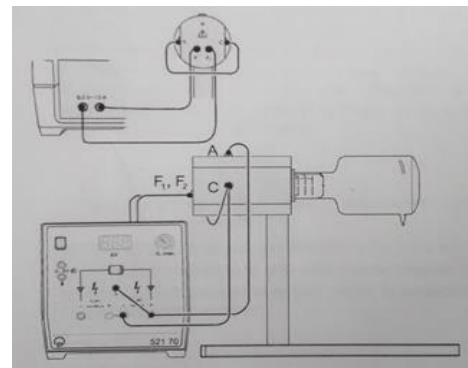
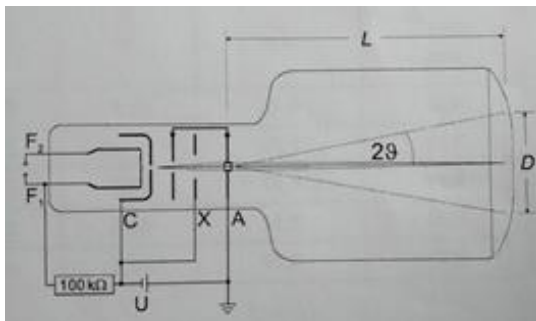
- Verificación de la ecuación de de Broglie
- Determinación de la distancia reticular interplanar del grafito.

Materiales y equipo de laboratorio:

- Tubo de difracción de electrones
- Porta tubo
- Fuente de poder de alto voltaje (10 KV)
- Calculadora
- Regla de plástico transparente

Procedimiento:

A continuación, se presentan dos esquemas, el primero con las características del tubo de difracción, y el segundo con el montaje experimental en el que incluye el diagrama de cableado. Este procedimiento corresponde al profesor y es necesario prepararlo poco antes de la realización del experimento



Datos técnicos:

$L = 13.5 \text{ cm}$  (distancia entre la lámina de grafito y la pantalla).

$D$  es el diámetro de un anillo de difracción observado en la pantalla.

$\vartheta$  es el ángulo de difracción observado en la pantalla.

Montaje experimental:

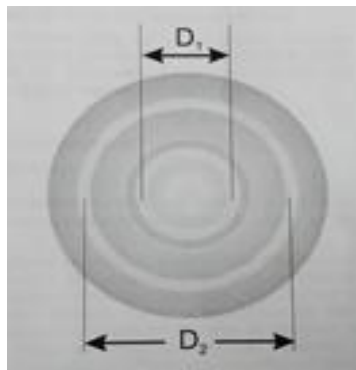
1. Conecte las conexiones hembra para calentar el cátodo  $F_1$  y  $F_2$ , del porta tubo a la salida en la parte trasera de la fuente de alimentación de alta tensión de 10 kilo volts.
2. Conecte las conexiones hembra C (tapa del cátodo) y X (electrodo de enfoque) del porta tubo al polo negativo.
3. Conecte la conexión hembra A (ánodo) al polo positivo de la salida de kV / 2 mA de la fuente de alimentación de alta tensión de 10kv.
4. Realice las conexiones a tierra del polo positivo de la fuente de alimentación de alta tensión de 10 kV.

Realización del experimento:

1. Aplique una tensión de aceleración  $V \leq 5\text{kV}$  y observe el patrón de difracción.

Nota: La dirección del haz de electrones se puede influenciar por medio de un imán, que puede colocarse cerca del cuello del tubo, cerca del sistema de enfoque de electrones.

Para obtener otra imagen de la muestra puede ser necesario ajustar el imán en caso de que no se puedan distinguir perfectamente al menos dos anillos de difracción en el patrón de difracción.



2. Varíe la tensión de aceleración  $V$  entre 3 y 5 kV en intervalos de 0.5 kV y mida el diámetro  $D_1$  y  $D_2$  de los anillos de difracción en la pantalla.
3. Elabore una tabla de datos que incluya la tensión de aceleración  $V$  y los diámetros de difracción de los anillos  $D_1$ ,  $D_2$ .

V (kV)	D <sub>1</sub> (m)	D <sub>2</sub> (m)

- Determine la longitud de onda de los electrones y compárela con la longitud de onda calculada teóricamente. Elabore una tabla de datos para comparar resultados.
- Verificar si los datos obtenidos para las longitudes de onda, corresponden con los obtenidos para la longitud de onda de de Broglie.

Hipótesis de de Broglie  $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2Vme}}$  ; a partir de las mediciones:  $\lambda = d \frac{D}{2L}$

V (kV)	D <sub>1</sub> (m)	D <sub>2</sub> (m)	$\lambda_1$ (m)	$\lambda_1$ teórica (m)

- Determine las distancias reticulares interplanares del grafito.

$$d = \frac{2 L h}{k \sqrt{2 m e}}$$

como

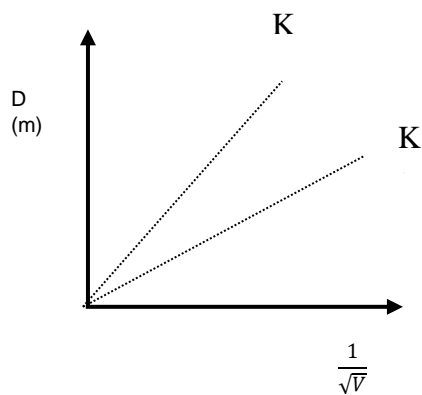
$$D = k \frac{1}{\sqrt{V}},$$

Para determinar el valor de las constantes,  
hacer una gráfica de

Los diámetros

$D_1$  y  $D_2$  en función de  $\frac{1}{\sqrt{V}}$  y linealizar

después



Las pendientes  $k_1$  y  $k_2$  se pueden obtener a partir de la gráfica

Preguntas guía para la elaboración del reporte.

1. Menciona las teorías o los trabajos que Louis de Broglie tomo en cuenta para formular su Hipótesis.
2. ¿A quién se le atribuye el experimento de la difracción de electrones y en qué año?
3. ¿Qué es lo que se querían mostrar con este experimento?

Bibliografía para el alumno:

11. Kirkpatrick, L. D. & Francis, G. E. (2011). *Física. Una mirada al mundo*. Traducción Martínez S. M. México. SENGAGE Learning.
12. Gutiérrez, A. C., (2010) *Física*. México. Ed. Mc. Graw Hill.

13. Serway, R. A., Moses, C. J., and Moyer, C.A. (2006). *Física moderna* Ed. Thompson. México.
14. Tema II Cuántica. Recuperado de:  
[http://www.yoquieroaprobar.es/5\\_bachiller/6/intergranada/Tema\\_11\\_Cuantica.pdf](http://www.yoquieroaprobar.es/5_bachiller/6/intergranada/Tema_11_Cuantica.pdf)
15. Física cuántica segundo de bachillerato. Recuperado de:  
<https://fisquiweb.es/Apuntes/Apuntes2Fis/ResumenFisicaCuantica.pdf>
16. Ejercicios propuestos de física cuántica. Recuperado de:  
[http://mestreacasa.gva.es/c/document\\_library/get\\_file?folderId=500014137753&name=DLFE-873776.p](http://mestreacasa.gva.es/c/document_library/get_file?folderId=500014137753&name=DLFE-873776.p)

Bibliografía para el profesor:

1. Serway. R. A., Moses, C. J., and Moyer, C.A. (2006). *Física moderna* Ed. Thompson. México.
2. Tema 9. Crisis de la física clásica, introducción a la física moderna. Recuperado de:  
<https://docplayer.es/75888627-Tema-9-la-crisis-de-la-fisica-clasica-introduccion-a-la-fisica-moderna.html> . Junio de 2019
3. Dualidad onda corpúsculo guías de apoyo. Recuperado de:  
[http://www.guiasdeapoyo.net/guias/cuart\\_fis\\_c/Dualidad%20onda%20corpúsculo%20%20%20de%20B](http://www.guiasdeapoyo.net/guias/cuart_fis_c/Dualidad%20onda%20corpúsculo%20%20%20de%20B) . Junio de 2019.
4. Experimento de difracción de electrones. Recuperado de:  
<https://fisicaexpdemostrativos.uniandes.edu.co/PDF/Difraccion%20de%20electrones%20en%20una%20red%20p>
5. Tema I. Orígenes de la teoría cuántica. Recuperado de:
  - a. [http://www3.uji.es/~rajadell/index\\_files/IA23/tema1.pdf](http://www3.uji.es/~rajadell/index_files/IA23/tema1.pdf)
6. Física cuántica segundo de bachillerato. Recuperado de:  
[http://chopo.pntic.mec.es/jmillan/Apuntes\\_power\\_point/optica/fisica%20cuantica.pdf](http://chopo.pntic.mec.es/jmillan/Apuntes_power_point/optica/fisica%20cuantica.pdf)



## VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### PREVIO A LAS SECUENCIAS DIDÁCTICAS

#### EVALUACIÓN DIAGNÓSTICA

Retomando los conceptos necesarios para abordar el tema de radiación electromagnética, en la evaluación diagnóstica (Anexo 1) se observa que la mayoría de los alumnos tienen claro el concepto de frecuencia, longitud de onda y amplitud como lo muestran los resultados en los reactivos: 3, 8, 9, 10 y 11.

En general, los comentarios de los alumnos respecto a las ondas electromagnéticas, es que son ondas que no necesitan de un medio material para propagarse y que su velocidad es igual a la velocidad de la luz en el vacío. Y que están formadas por campos eléctricos y magnéticos variables (reactivos 1 y 2)

La mayoría de los alumnos conoce el espectro electromagnético y la clasificación de las ondas de acuerdo con su longitud de onda y frecuencia. Y también identifican la región del espectro visible (reactivos 12,13, 14 y 15).

Respecto a los usos de las ondas electromagnéticas principalmente mencionan los medios de comunicación (radio, televisión, telefonía, internet, Wifi) y en medicina (radioterapia, estudios radiológicos como radiografías) en un porcentaje muy bajo hablan de usos en la industria (reactivo 15).

En lo que se refiere a la radiación térmica, se muestran las ideas principales que se obtuvieron en la discusión grupal y que son muy similares a las que tienen en forma individual.

<b>¿Qué es la radiación térmica?</b>	<b>Materiales que emiten radiación</b>	<b>¿A qué se debe que un material pueda emitir radiación?</b>	<b>¿Qué relación hay entre el color de la radiación del espectro visible y la temperatura?</b>
La radiación es energía que se transmite por medio de ondas electromagnéticas Como la luz, la electricidad y el calor	El sol Los focos y lámparas  La flama de la estufa  Algunos materiales radiactivos como el uranio	A que se encuentra a alta temperatura o porque tiene la propiedad de emitir radiación Como los materiales radiactivos	Si hay relación porque cada material emite radiación de diferente color de acuerdo con su temperatura y composición

De acuerdo con la evaluación diagnóstica, parece ser que las ondas electromagnéticas son todas las que se encuentran en la clasificación del espectro electromagnético.

La radiación térmica, por separado, son ondas electromagnéticas, pero se refieren a calor y a luz principalmente

No se ve una relación clara entre las ondas electromagnéticas y la radiación que emiten los materiales a alta temperatura (reactivo 17).

El color de la radiación lo asocia con la temperatura, pero como algo natural de la composición del material (reactivo 7 y discusión grupal). En esta parte se presenta una idea no muy clara que hay que trabajar bien durante el desarrollo de la estrategia.

Pocos de ellos tienen idea de los trabajos que sirvieron como base para fundamentar la síntesis del electromagnetismo de Maxwell (reactivos 4 y 18) y del experimento de Heinrich Hertz (reactivo 5) que sirvió para demostrar la existencia de las ondas electromagnéticas, y reafirmar la teoría de Maxwell.

## **DURANTE LAS ESTRATEGIAS**

Para la evaluación del logro de los aprendizajes se utilizaron como referencia las actividades programadas en cada una de las estrategias, la autoevaluación del alumno y el examen del tema al final de la propuesta didáctica.

Al término de cada tema se les proporcionó a los alumnos un formato para su autoevaluación con la finalidad de detectar el logro de los aprendizajes y las dificultades que se presentaron durante el desarrollo de la estrategia. (ver anexo 2).

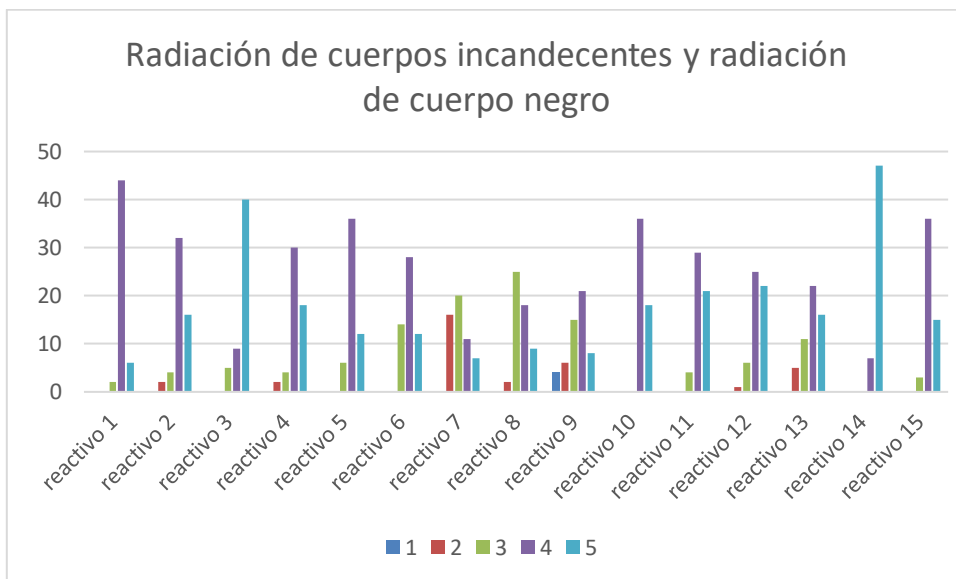
La autoevaluación abarca 5 niveles que reflejan el logro del aprendizaje. El número 1 corresponde al nivel no alcanzado y el número 5 al máximo nivel.

### **➤ RADIACIÓN DE CUERPOS INCANDESCENTES Y RADIACIÓN DE CUERPO NEGRO**

En el tema de radiación de cuerpos incandescentes y radiación de cuerpo negro se observa que no hay dificultad en el entendimiento de las características de la radiación y su relación con la temperatura. Los reactivos en los que hay dificultades son: 7, 8 y 9.

El reactivo 7 se refiere a las inconsistencias en la explicación de la ley de Stefan-Boltzmann y la ley de desplazamiento de Wien en comparación con los resultados experimentales. El reactivo 8 corresponde al concepto de la radiación de cuerpo negro y el 9 es la explicación de Planck a la radiación de cuerpo negro. Estos resultados permiten actuar en el momento

para tratar de retroalimentar y de ser necesario explicar las inconsistencias mediante un video y un análisis en las gráficas para hacer una comparación con la explicación de Planck.



Finalmente, el objetivo del tema se cumplió dado que su función fue introducir el concepto de radiación como punto de partida para hablar de las dificultades a las que se enfrentaron los científicos cuando las predicciones de la física clásica no correspondían del todo con los resultados experimentales.

Determinar la longitud de onda máxima para cada color de la radiación usando las ecuaciones de desplazamiento de Wien y observar el corrimiento hacia el ultravioleta una y otra vez en el simulador, en el video y en la gráfica, permite entender mejor el experimento para determinar la constante de Planck con el uso de luz LED para diferentes colores.

Determinar la constante de Planck en los laboratorios curriculares no es sencillo, pero una vez que se logra es una motivación para el alumno. La actividad se planeó con la finalidad de estudiar los antecedentes históricos y la forma en que se puede hacer uso de otras teorías para explicar un comportamiento que no es del todo correcto de acuerdo con las teorías de la física clásica. De acuerdo con el reporte de la actividad experimental en el simulador, no hay problema en el uso de ecuaciones e interpretación de los resultados.

En los reportes de la actividad experimental para determinar la constante de Planck, se puede observar un buen manejo en el uso de datos y la elaboración de las gráficas.

Al momento de calcular la constante de Planck en las gráficas se muestra un error entre el 14 a 19 % aproximadamente. Los alumnos atribuyen el error a que fue necesario cambiar el amperímetro porque la escala que se requería era del orden de microamperios y a esa escala tan pequeña es más fácil cometer errores en la medición. Algunos otros mencionan que el error se debe a la escala en el papel milimétrico. La mayoría de los estudiantes estuvieron conformes con los resultados y les agradó el ver cómo de un experimento en el laboratorio se puede determinar una constante tan importante como lo es la constante de Planck.

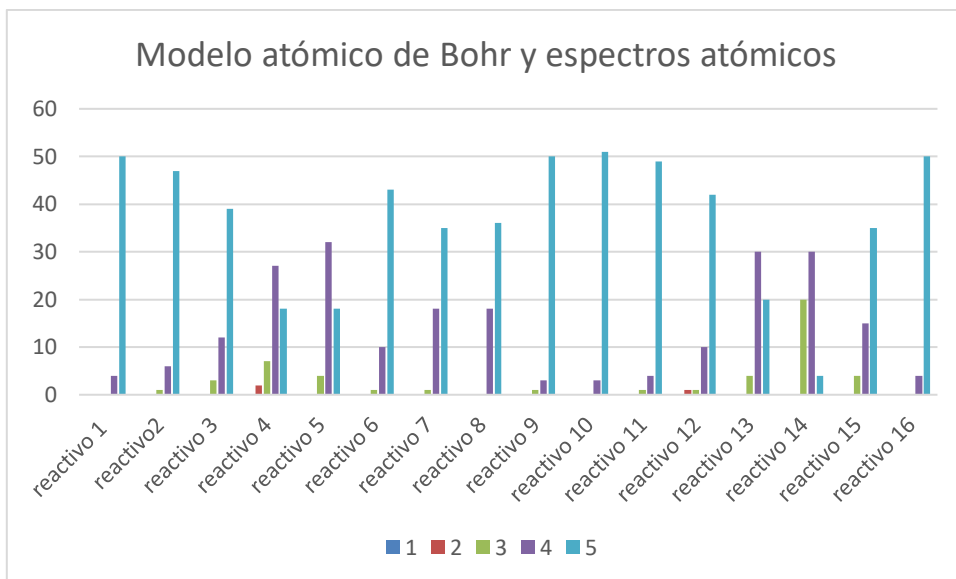
#### ➤ ESPECTROS ATÓMICOS Y MODELO ATÓMICO DE BOHR

Los alumnos conocen diferentes modelos atómicos, las partes que lo forman y la ubicación de cada una de las partes (reactivos 1 a 4 en la autoevaluación anexo 2)

La evolución de los modelos atómicos los alumnos la aceptan como la necesidad de tener un modelo que represente mejor la realidad y que corresponda a las teorías y las observaciones experimentales.

Desde el inicio de la estrategia el alumno observa los espectros atómicos, en los videos y en el laboratorio. La información previa al experimento les permite diferenciar entre un espectro de absorción y uno de emisión y conocer la semejanza que tienen ambos espectros para un mismo elemento. Ellos pueden detectar diferencias entre espectros de emisión y absorción para diferentes sustancias.

Durante la actividad experimental se hace mucho énfasis en la importancia de las líneas espectrales para cada elemento, por lo que resultó necesario saber si el alumno observaba estas líneas. Una muestra de ello fueron los dibujos (en la parte cualitativa), y posteriormente se trabajó en forma cuantitativa para determinar las líneas espectrales en el átomo de hidrógeno.



En la autoevaluación se observa que no hay mucha dificultad en el entendimiento de los conceptos y la parte histórica puede ser una ayuda para que el alumno vea que la ciencia está en constante evolución.

Durante la estrategia fue necesario hacer énfasis en los postulados del modelo atómico, y reiterar en sus limitaciones para explicar espectros de otros átomos.

Adicional a estas preguntas, en la parte cuantitativa como parte de la investigación para la elaboración del reporte, se solicitó a los alumnos investigar sobre los modelos que explican la naturaleza de la luz como onda (Experimento de Young) y, como partícula (explicación de Newton) y justificar la respuesta a las siguientes preguntas:

¿Qué modelo de la luz se usó para medir las longitudes de onda de las líneas espectrales?,  
 ¿Qué modelo de la luz se usó para explicar la existencia de las líneas espectrales?

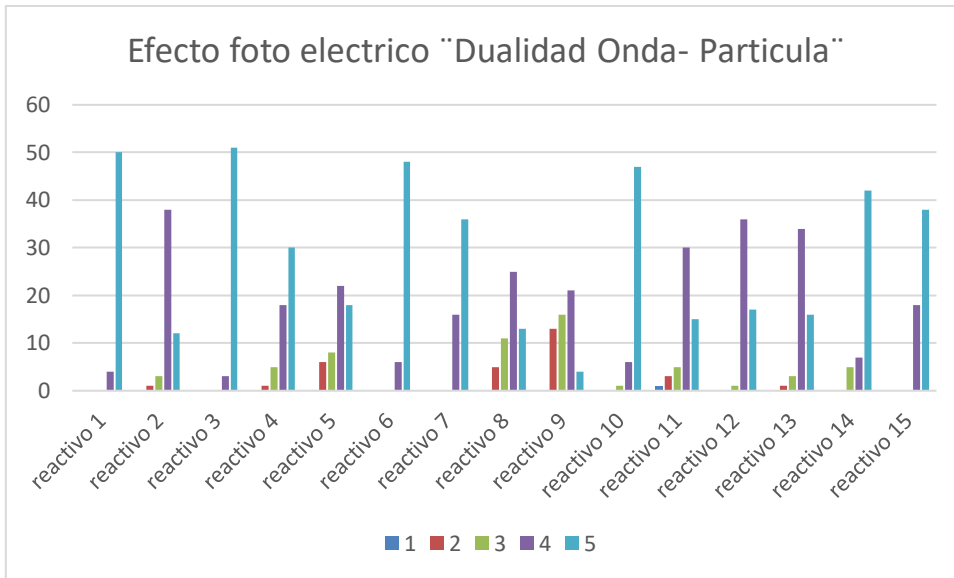
Los modelos que explican la naturaleza de la luz también se tomaron como referencia al inicio del tema del efecto fotoeléctrico.

En lo referente al modelo atómico de Bohr para ubicar al alumno en el contexto histórico, se pidió mencionar dos científicos y sus aportaciones que fueron fundamentales al formular su modelo atómico.

En especial, los alumnos en su reporte mencionan el modelo atómico de Rutherford y la hipótesis de Planck.

## ➤ EFECTO FOTOELÉCTRICO

Con la estrategia didáctica para el efecto fotoeléctrico, se pretendía en un primer momento conocer los antecedentes históricos que dieron origen al efecto fotoeléctrico (experimento de Heinrich Hertz), y posteriormente, abordar la parte conceptual y hablar de las características propias del efecto fotoeléctrico.



La realización del experimento de Heinrich Hertz fue la parte motivadora para el contexto histórico, y el uso del simulador para el efecto fotoeléctrico permitió ver tres aspectos importantes:

El primero observar, a nivel cualitativo la relación que existe entre la intensidad de la radiación y el número de fotoelectrones emitidos.

El segundo también a nivel cualitativo, ver la velocidad con la que salen expulsados los fotoelectrones al variar la frecuencia de la radiación para relacionar la velocidad con la energía cinética máxima durante la emisión.

El tercero en forma cuantitativa, obtener datos que permitieron elaborar las gráficas correspondientes para determinar la frecuencia umbral y la función trabajo para diferentes metales y comparar las pendientes en cada gráfica para hablar de la importancia de la constante de Planck, debido a que la explicación de Einstein del efecto fotoeléctrico se realizó en base a la hipótesis de Planck.

En los reportes experimentales, se observa que los estudiantes realizaron una investigación bibliográfica en lo que se refiere a la secuencia histórica. Los datos reportados permitieron elaborar las gráficas correspondientes para diferentes metales. En sus observaciones los

alumnos mencionan que la forma de las gráficas es la misma y lo único que cambia es la frecuencia umbral para cada metal.

No tienen dificultad en el uso de ecuaciones y en lo que se refiere a las características propias del efecto fotoeléctrico, parece ser que hay dificultad en lo que se refiere al voltaje de frenado.

El concepto de fotón lo repiten tal como está en la bibliografía y le asignan una energía de acuerdo con la longitud de onda de la radiación.

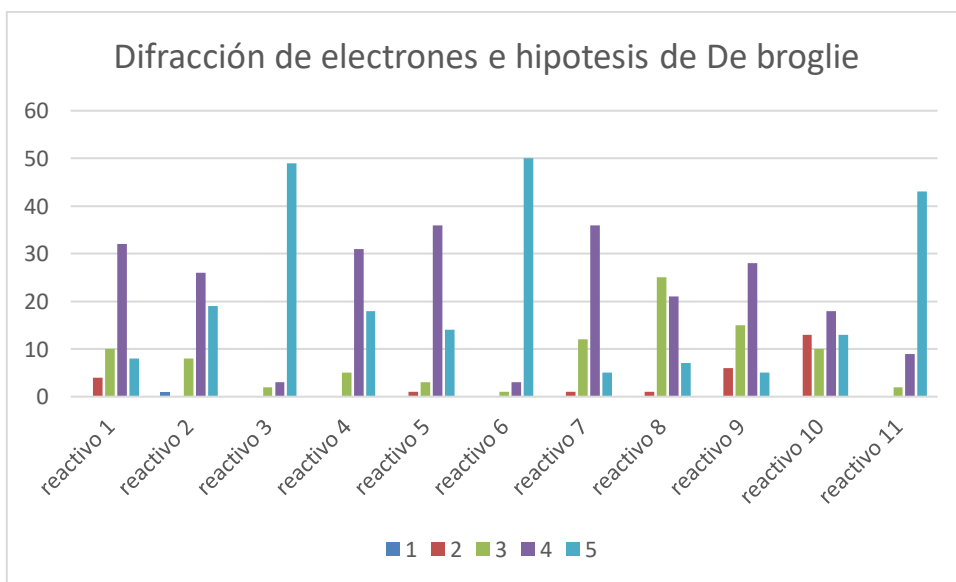
El término fotoelectrón les resulta confuso, les parece mejor hablar de los electrones expulsados de la placa metálica, o de la emisión de electrones en el efecto fotoeléctrico.

La elaboración de las gráficas les permite entender el concepto de frecuencia umbral, por lo menos es lo que se observa en el reporte experimental.

### ➤ DIFRACCIÓN DE ELECTRONES

La estrategia fue propuesta para hablar de la dualidad onda - partícula de acuerdo con la hipótesis de de Broglie, mediante el experimento de la difracción de electrones en una red policristalina de Grafito, y formalizar el trabajo en el laboratorio como una herramienta necesaria en la investigación.

De acuerdo con la autoevaluación se observa que los alumnos muestran dificultad para entender dicha dualidad. Y hay confusión a lo que se refieren a las ondas de materia.



Fundamentar la hipótesis de de Broglie para entender la idea de dualidad onda partícula, y conocer las implicaciones que tuvo el introducir el concepto de dualidad onda partícula en forma simultánea, fue un acierto dado que para completar esta idea fue necesario introducir el concepto de ondas de materia y la interpretación estadística en la función de onda y con ello dar la pauta para próximas investigaciones que ayudan a entender los fundamentos de la física cuántica, la diferencia entre física clásica y física cuántica.

## **AL FINAL DE LAS SECUENCIAS DIDÁCTICAS**

Actividad integradora:

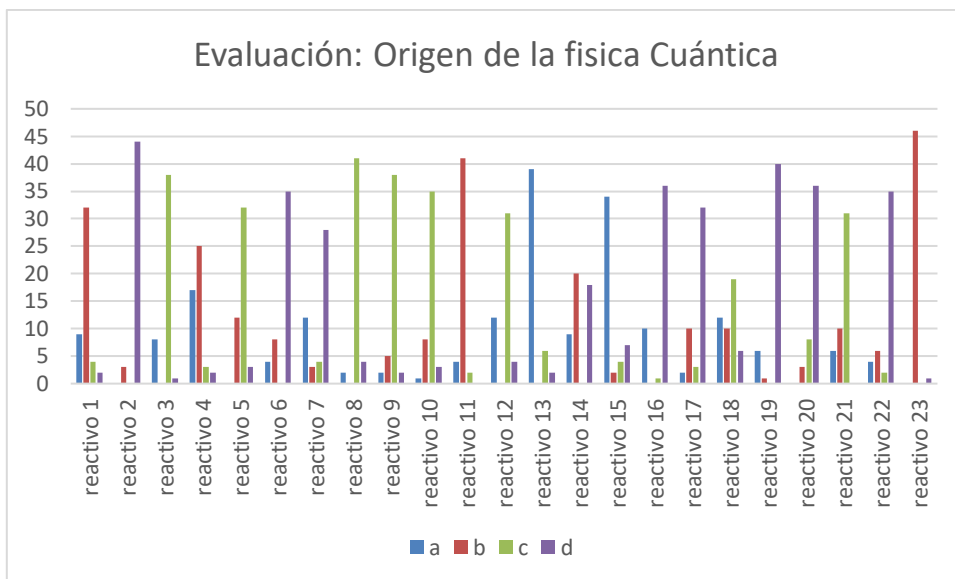
Para cerrar y como una forma de integrar los conocimientos adquiridos durante la intervención pedagógica, se solicitó a los alumnos que en su casa, elaboraran un mapa en hojas blancas, o un diagrama o cuadro sinóptico que mostrara los experimentos que dieron origen a la física cuántica, incluyendo los personajes, el año y de ser posible los conceptos relacionados a cada experimento etc; y traer 1.5 m de papel \_\_\_\_?\_\_\_\_, marcadores, lápiz adhesivo, tijeras para la siguiente clase.

Al inicio de la clase se solicitó a los alumnos entregar el mapa elaborado de tarea. Durante la clase a manera de negociación de significados entre iguales, se puso en práctica la elaboración del mapa, diagrama o cuadro sinóptico como el que se había dejado de tarea, pero ahora en equipo.

Los resultados obtenidos en el aprendizaje mediante la negociación de significados entre iguales durante la elaboración del mapa, fueron bastante satisfactorios; negociar el orden cronológico, los personajes, la importancia de cada experimento, los conceptos y sus características, etc., les llevó algo de tiempo, pero finalmente los resultados fueron muy completos y acertados para el cierre del curso. Algo importante es que los alumnos no tuvieron acceso al mapa elaborado en forma individual hasta el final y sólo para comparar.

Examen “Origen de la física cuántica”





En el examen, las preguntas de opción múltiple tienen el máximo porcentaje en la opción correcta en la mayoría de los reactivos. Los reactivos que muestran dificultades son el 4, 14 y 18. El 4 que corresponde la radiación de cuerpos incandescentes que pide identificar para qué valores de longitudes de onda son válidas las ecuaciones de Rayleigh - Jeans y de Wien respectivamente. El reactivo 14 que pide identificar uno de los postulados de Bohr y el 18 en el que se pide identificar en qué momento el voltaje de frenado se hace cada vez más negativo en relación con la frecuencia de la radiación hay que mencionar que los alumnos sí entienden lo que es el potencial de frenado, pero durante la simulación no hay un modelo que les permita establecer una relación entre las dos variables.

En los reactivos de respuesta breve los alumnos resuelven en forma satisfactoria la mayoría de ellos. Puede ser que la actividad de cierre (elaboración de un mapa conceptual o mental) les permitió recordar dichos conceptos.

La resolución de ejercicios de lápiz y papel realmente es representativa porque ellos estaban esperando que fuera más complicado debido a que en cada tema se había resuelto un número mayor de ejercicios. El uso de formulario fue necesario para presentar el examen, y el manejo de datos no les causó problema. El error que llegaron a cometer fue el uso incorrecto de unidades o algún despeje en las fórmulas.

## IX. CONCLUSIONES

Este trabajo se realizó con la finalidad de implementar una serie de secuencias didácticas encaminadas a fortalecer el proceso de enseñanza-aprendizaje de la física cuántica en el bachillerato. La propuesta se ajustó a los aprendizajes relacionados a física cuántica en la tercera unidad del programa de la asignatura de Física II que se imparte en cuarto semestre en el Colegio de Ciencias y Humanidades.

El marco de referencia de este trabajo se centró en el electromagnetismo y el origen de la física cuántica. Se aplicó el enfoque constructivista propuesto por Driver y un modelo de enseñanza de las ciencias como un proceso de investigación dirigida. Las conclusiones obtenidas en cada tema se muestran a continuación:

1. Radiación de cuerpos incandescentes y radiación de cuerpo negro.

El entendimiento de los conceptos de la radiación de cuerpo negro tiene sus dificultades a nivel bachillerato debido al nivel cognitivo de los alumnos a esa edad. Sin embargo, situarlos en el contexto histórico permitió ver el surgimiento de la física cuántica ante la necesidad de explicar fenómenos que la física clásica no pudo explicar. Esta actividad permitió situar al alumno en el contexto del desarrollo de la ciencia y del conocimiento como una actividad en constante evolución y hablar de la importancia que tiene la constante de Planck para interpretar fenómenos cuánticos como el efecto fotoeléctrico.

2. Estructura de la materia:

El modelo atómico de Bohr se utilizó para explicar los espectros atómicos dado que era otro de los temas que muestran algunas dificultades para ser explicados con las teorías de la física clásica.

En cuanto al logro de los aprendizajes en el modelo atómico de Bohr se observa que los alumnos usan en forma adecuada las ecuaciones para determinar la longitud de onda de las líneas espectrales del átomo de hidrógeno tal como lo muestran la mayoría de los libros. Entienden las limitaciones del modelo atómico de Bohr. También entienden la transición del electrón entre una órbita y otra, y las condiciones en las que hay absorción o emisión de energía.

La dificultad que se presenta aquí es que aun cuando el modelo atómico de Bohr es un modelo cuántico, los alumnos asignan una trayectoria al electrón durante la emisión o absorción de energía al pasar de una órbita a otra. La idea que tienen los

alumnos, se puede justificar porque los modelos que hacen alusión a los saltos cuánticos, se hacen mediante una presentación de órbitas fijas y un dibujo de la trayectoria de un electrón cuando va de una órbita a otra mediante una flecha que indica la dirección. Las líneas de color en forma de onda muestran la emisión o absorción de energía (en forma de fotones) del electrón durante la transición. Puede ser que el modelo que usan los libros o los videos, no esté del todo mal, pero fomenta las ideas clásicas de la trayectoria que siguen las ondas y las partículas en este caso electrones o fotones.

### 3. El efecto fotoeléctrico

El efecto fotoeléctrico tiene características muy particulares que no fueron explicadas en forma satisfactoria con las teorías de la física clásica. Es uno de los experimentos presentes en la mayoría de los libros de texto, cuando se habla de la crisis de la física clásica. Algo sorprendente es que los alumnos no ven una crisis como tal, aunque toman este experimento como punto de partida para hablar de física moderna porque es Einstein quien da una explicación adecuada a esta situación.

### 4. La hipótesis de de Broglie.

El objetivo principal de esta estrategia fue entender la dualidad onda partícula. Hay que considerar que onda y partícula no pueden ser independientes, debe existir un paralelismo entre el movimiento de la partícula y la propagación de la onda asociada a su movimiento. Los resultados fueron que los alumnos tienen dificultad para entender dicha dualidad, parece ser que ellos lo entienden como dos manifestaciones diferentes para una situación en particular. Para corregir esta idea fue necesario hablar de las ondas de materia. Hay que mencionar en este punto que en lo referente a la dualidad onda - partícula hay toda una controversia en la interpretación del mundo cuántico y en los fundamentos de sus teorías.

La propuesta resultó muy cercana a los objetivos planeados, y se puede concluir como comentario final que es necesario reforzar las actividades de aprendizaje de los alumnos buscando la forma de que ellos identifiquen que la ciencia está en constante evolución, que los modelos teóricos nos ayudan a entender la realidad. Que dichos modelos deben de coincidir con los resultados experimentales y que pueden tener límites de validez y, que

cuando estos modelos no coinciden o no sirven para interpretar un fenómeno en particular, es necesario buscar argumentos o nuevas explicaciones y con ello surgen nuevas teorías.

## X. REFERENCIAS DOCUMENTALES

Campanario, J. M. y Moya, A. (1999). *¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas.* (pp. 179-192) Enseñanza de las Ciencias 17 (2). Madrid. <http://www3.uah.es/jmc/an11.pdf>

Campanario, J. M. (2001). Algunas propuestas para el uso alternativo de los mapas conceptuales y los esquemas como instrumentos metacognitivos. (pp. 31-38) 28 Alambique. <http://www.uah.es/otrosweb/jmc>

CCH. (2003). Programa de la asignatura de Física I a IV. México. UNAM

CCH. (2017). Programa de la asignatura de Física I a IV. México. UNAM

CCH-UNAM. (2005). *Orientación y Sentido de las Áreas.* Área de Ciencias Experimentales. México.

CCH-UNAM. (2006). *Orientación y Sentido de las Áreas del Plan de estudios Actualizado.* México.

Cetto, A. M. y De la Peña, L. (1992) *¿Cómo entender las ondas de materia?* (pp. 63-68) 27. México. Ciencias UNAM [www.revistaciencias.unam.mx/en/175-revistas/revista-ciencias-27/1619](http://www.revistaciencias.unam.mx/en/175-revistas/revista-ciencias-27/1619)

Díaz Barriga, F. y Hernández, G. (2002). *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo.* México, McGraw Hill.

Driver, R. (1986). *Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos.*(pp. 3-15) 6 (2) Enseñanza de las ciencias.

Estévez, E. H. (2004). *Enseñar a aprender Estrategias cognitivas.* México. Paidós. ISBN 968-853-502-8

Giere. R. (ed) (1992) *Cognitive models of science.* University of Mineapolis.

Gómez, M. y Sanmartí, N. (1996) *La didáctica de las ciencias: una necesidad.* Educación Química (pp. 156-168) 7(3). <http://documents.mx/documents/gomez-sanmarti-1996-la-didactica-de-las-cienciasuna-necesidad-didactica20de20las20cienc.html>

Gutiérrez, A. C. (2009). *Física general.* México Mc Graw Hill ISBN-13: 978-607-15-0660-3.

Halliday, D. y Resnick, R. (1993). *Fundamentos de Física Versión Ampliada.* México. CECSA. ISBN 968-26-0645-4.

Kirkpatrick, L.D. & Francis, G. E. (2011). *Física. Una mirada al mundo*. Traducción Martínez S. M. México. SENGAGE Learning.

Marín, E. (2005). *Acerca de la Enseñanza del modelo atómico de Bohr*. (pp. La Abana Cuba. Revista Cubana de Física 22 (2) <http://rcf.fisica.uh.cu/files/Archivos/2005/FIS%2022205/RCF2222005-125.PDF>

Mellado, V. y Carracedo, D.(1993). Contribuciones de la filosofía de la ciencia a la didáctica de las ciencias. (PP. 331-339) Enseñanza de las ciencias. 11 (3).

<https://www.raco.cat/index.php/article/viewfile>

Orígenes de la Física Cuántica. Tema 4. curso 2009-2010. <http://www.eweb.unex.es/eweb/fisteor/vicente/fisicall/tema4bis.pdf>

Ornelas, C. (2003). *El sistema educativo mexicano La transición de fin de siglo*. México. Fondo de Cultura Económica. ISBN 968-16-4589-8

Ostermann, F. Moreira M. A. (2000). *Física Contemporánea en la escuela secundaria: Una experiencia en el aula involucrando formación de Profesores*. (pp.391-404). Enseñanza de las Ciencias 18 (3). <http://www.raco.cat/index.php/ensenanza/article/viewFile/21689/21522>

Pérez Gil D. (1983). *Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias*.(pp. 26-32). <http://www.raco.cat/index.php/ensenanza/article/viewFile/50606/92617>

Posadas, Y. (2006) *Física II Ondas electromagnéticas y física contemporánea*. México. Ed. Progreso.

Serway, R. A., Moses, C. J., and Moyer, C.A. (2006). *Física moderna*. México. Ed. Thompson.

Tippens, P. E. (1988). *Física Conceptos y Aplicaciones*. México. ISBN 968-422-031-6

Tipler, P. A. (1987). *Física Moderna*. España. Reverté

Richardson, R. C. y McCarthy, R. B. (2009). *Física*. ISBN 978-0-07-340447-9 Traducción González R.A. UNAM. México. Mc Graw Hill. ISBN 13: 978-970-10-7078-9.

Vázquez, J. Z. (2000). *Nacionalismo y educación en México*. México, Colegio de México. ISBN 968-12-0029-2

## ANEXOS

### ANEXO 1

#### EVALUACIÓN DIAGNÓSTICA

Nombre del alumno: \_\_\_\_\_

*Instrucciones; escribe dentro del paréntesis de la derecha la respuesta correcta*

1. ¿Qué son las ondas electromagnéticas y cómo se generan? .....( )  
a) Ondas transversales que se generan por campos eléctricos constantes.  
b) Ondas transversales que se generan por campos magnéticos constantes.  
c) Ondas transversales que se generan por campos eléctricos y magnéticos constantes perpendiculares entre si.  
d) Ondas transversales que se pueden generar por cargas eléctricas aceleradas.
2. La velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas en el vacío es aproximadamente: ( )  
a) 300 000 000 m/s    b) 300 000 000 Km/s    c) 300 Km/s    d) 300 000 m/s
3. En una onda electromagnética, la relación que existe entre la frecuencia y la longitud de onda es: ( )  
a) Directamente proporcionales                      b) inversamente proporcionales  
c) iguales    d) una es el cuadrado de la otra
4. Desarrolló la teoría electromagnética clásica sintetizando todas las observaciones, experimentos y leyes sobre electricidad y magnetismo. .... ( )  
a) Faraday y Lenz            b) Ampere                      c) Heinrich Hertz                      d) Maxwell
5. Con su experimento logró demostrar la existencia de las ondas electromagnéticas y comprobar la teoría de Maxwell .....( )  
a) Faraday                      b) Heinrich Hertz                      c) Planck                                      d) Ampere
6. La temperatura de un material corresponde al promedio de la energía: .....( )

- a) Cinética    b) Potencial    c) Mecánica    d) Nuclear

7. El color de la radiación de un cuerpo incandescente varía con: .....(    )

- a) Su forma    b) El tipo de material    c) La temperatura    d) Su composición

*Instrucciones: Observa la siguiente imagen y subraya la opción correcta*

<p>8. ¿Cuál de las ondas enumeradas tendrá la mayor frecuencia para un mismo tiempo?</p> <p>a) 1                    b) 2                    c) 3</p> <p>9. ¿Cuál de las ondas enumeradas tendrá la menor frecuencia para el mismo tiempo?</p> <p>a) 1                    b) 2                    c) 3</p> <p>10. ¿Cuál de las ondas enumeradas tendrá la menor longitud de onda?</p> <p>a) 1                    b) 2                    c) 3</p> <p>11. ¿Cuál de las ondas enumeradas tendrá la menor amplitud?</p> <p>a) 1                    b) 2                    c) 3</p>	
---	--

12. ¿Qué es el espectro electromagnético?

---



---

13. Escribe tres ejemplos de ondas electromagnéticas de alta frecuencia:

---

14. Escribe tres ejemplos de ondas electromagnéticas de baja frecuencia:

---

15. ¿Cuáles son los usos de las ondas electromagnéticas?

---



---

16. ¿A qué se le conoce como espectro visible? \_\_\_\_\_

---

17 ¿Qué es la radiación térmica? \_\_\_\_\_

---

18 Menciona los personajes y leyes que Maxwell tomó como referencia para formular la síntesis del electromagnetismo.

---

---

---

## ANEXO 2

### ORIGEN DE LA FÍSICA CUÁNTICA

#### AUTOEVALUACIÓN

El objetivo de la autoevaluación es obtener información para medir el logro de los aprendizajes de cada uno de los alumnos, respecto a cada tema.

La autoevaluación se aplica al final de cada tema como una forma de detectar el logro de los aprendizajes y las dificultades que se presentan durante el desarrollo de las actividades con la finalidad de corregir, orientar o retroalimentar las ideas para una mejor elaboración del reporte.

#### AUTOEVALUACIÓN

#### RADIACIÓN DE CUERPOS INCANDESCENTES “RADIACIÓN DE CUERPO NEGRO”

Nombre del alumno: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_

*Instrucciones: Escribe una **cruc** en aquella casilla que consideres que refleje el logro alcanzado, de acuerdo con los siguientes criterios:*

- 1 NO ALCANCÉ EL LOGRO
- 2 LO ALCANCÉ DE FORMA DEFICIENTE
- 3 LO ALCANCÉ DE FORMA REGULAR
- 4 LO ALCANCÉ BIEN
- 5 LO ALCANCÉ DE FORMA EXCELENTE

	Aprendizajes	1	2	3	4	5
1.	Puedo explicar qué es una onda electromagnética y sus características.					
2.	Distingo entre los diferentes tipos de ondas electromagnéticas de acuerdo a su longitud de onda y frecuencia.					
3.	Entiendo qué es la radiación.					
4.	Conozco los diferentes tipos de radiación que existen, y cómo se clasifican.					
5.	Conozco la relación que hay entre la intensidad de los colores de la radiación de un cuerpo incandescente y la temperatura.					
6.	Conozco las leyes de la Física que explican el comportamiento de la radiación de cuerpo negro en comparación con la temperatura.					

7.	Entiendo cuáles fueron las inconsistencias de las explicaciones de la ley de desplazamiento de Wien, y de Rayleigh – Jeans, con los resultados experimentales.					
8.	Puedo definir lo que es la radiación de cuerpo negro.					
9.	Conozco la explicación de Planck a la radiación de cuerpo negro.					
10.	Puedo explicar a qué se refiere la palabra “cuánto”.					
11.	Entiendo el experimento realizado para calcular la constante de Planck.					
12.	Entiendo el funcionamiento de un LED y se lo que sucede cuando enciende el LED.					
13.	Puedo elaborar la gráfica de voltaje vs intensidad de corriente e interpretar los datos que se obtienen de ella.					
14.	Conozco algunos otros fenómenos que se pueden explicar con la teoría de Planck.					
15.	Puedo realizar algunos ejercicios relacionados con la teoría de Planck.					

16. ¿Cuáles fueron las principales dificultades que se presentaron durante el desarrollo de las actividades experimentales?

---



---

17. ¿Cuáles fueron los aprendizajes con mayor problema para su entendimiento?

---



---

**AUTOEVALUACIÓN**  
**“MODELO ATÓMICO DE BOHR Y ESPECTROS ATÓMICOS”**

Nombre del alumno: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_

*Instrucciones: Escribe una **cruc** en aquella casilla que consideres que refleje el logro alcanzado, de acuerdo con los siguientes criterios:*

- 1 NO ALCANCÉ EL LOGRO
- 2 LO ALCANCÉ DE FORMA DEFICIENTE
- 3 LO ALCANCÉ DE FORMA REGULAR
- 4 LO ALCANCÉ BIEN
- 5 LO ALCANCÉ DE FORMA EXCELENTE

	Aprendizajes	1	2	3	4	5
1.	Puedo dibujar un átomo e identificar las partes que lo forman y su ubicación.					
2.	Reconozco que hay diferentes modelos atómicos y se quién propuso cada modelo.					
3.	Entiendo que los modelos atómicos se sustentan en experimentos y que tienen sus limitaciones.					
4.	Comprendo las limitaciones del modelo atómico de Rutherford.					
5.	Conozco las teorías que Bohr tomó en cuenta para fundamentar su modelo atómico cuántico.					
6.	Entiendo la explicación que hace Bohr al espectro de emisión y absorción.					
7.	Se bien lo que es un espectro de absorción y emisión y se cómo se obtiene cada uno.					
8.	Entiendo los postulados del modelo atómico de Bohr y sus limitaciones.					
9.	Puedo utilizar el modelo atómico de Bohr para determinar la energía del fotón durante la emisión y lo puedo relacionar con el color de la línea espectral.					
10.	Conozco las limitaciones del modelo atómico de Bohr.					
11.	Puedo explicar la importancia de estudiar los espectros de los distintos átomos.					
12.	Puedo identificar diferencias entre los espectros de emisión para diferentes elementos.					
13.	Puedo mencionar a dos científicos que contribuyeron a explicar las espectros atómicos.					
14.	Entiendo el experimento realizado para determinar la longitud de onda de las líneas espectrales en el átomo de hidrógeno.					
15.	Puedo realizar algunos ejercicios numéricos relacionados al modelo atómico de Bohr.					

16.	Puedo mencionar algunos otros estudios relacionados con el modelo atómico de Bohr.					
-----	--	--	--	--	--	--

17. ¿Cuáles fueron las principales dificultades que se presentaron durante el desarrollo de las actividades experimentales?

---

---

18. ¿Cuáles fueron los aprendizajes con mayor problema para su entendimiento?

---

---

**AUTOEVALUACIÓN**  
**“EFECTO FOTOELÉCTRICO”**

Nombre del alumno: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_

Instrucciones: Escribe una **cruz** en aquella casilla que consideres que refleje el logro alcanzado, de acuerdo con los siguientes criterios:

- 1 NO ALCANCÉ EL LOGRO
- 2 LO ALCANCÉ DE FORMA DEFICIENTE
- 3 LO ALCANCÉ DE FORMA REGULAR
- 4 LO ALCANCÉ BIEN
- 5 LO ALCANCÉ DE FORMA EXCELENTE

	Aprendizajes	1	2	3	4	5
1.	Conozco el experimento de Heinrich Hertz y qué era lo que trataba de demostrar con dicho experimento.					
2.	Conozco cuáles fueron las consecuencias del experimento de Hertz en relación con la teoría electromagnética de Maxwell.					
3.	Puedo describir en qué consiste el efecto fotoeléctrico.					
4.	Conozco las características del efecto fotoeléctrico que no fue posible explicar con las teorías de la física clásica.					
5.	Entiendo a qué se le llama frecuencia umbral					
6.	Entiendo la relación entre frecuencia de la radiación y energía cinética máxima de los fotoelectrones.					
7.	Entiendo la relación entre la intensidad de la radiación y la cantidad de electrones expulsados por la placa.					
8.	Conozco el significado físico del trabajo de extracción o función trabajo.					
9.	Se lo que es el potencial de frenado.					
10.	Conozco por lo menos dos personajes que investigaron el efecto fotoeléctrico, cómo se produce y sus características.					
11.	Entiendo la explicación de Einstein al efecto fotoeléctrico.					
12.	Comprendo el significado de introducir un modelo ondulatorio para explicar la energía de los fotones en el efecto fotoeléctrico.					

13.	Comprendo el significado de utilizar el modelo de partícula para hablar de los paquetes de energía (fotones) para explicar el efecto fotoeléctrico.					
14.	Puedo diferenciar entre el comportamiento corpuscular y ondulatorio en la interpretación de los fenómenos donde intervienen ondas electromagnéticas.					
15.	Entiendo el significado de la dualidad onda partícula.					

16. ¿Cuáles fueron las principales dificultades que se presentaron durante el desarrollo de las actividades experimentales?

---



---

17. ¿Cuáles fueron los aprendizajes con mayor problema para su entendimiento?

---



---

**AUTOEVALUACIÓN**  
**HIPÓTESIS DE DE BROGLIE “DIFRACCIÓN DE ELECTRONES”**

Nombre del alumno: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_

Instrucciones: Escribe una **cruc** en aquella casilla que consideres que refleje el logro alcanzado, de acuerdo con los siguientes criterios:

- 1 NO ALCANCÉ EL LOGRO
- 2 LO ALCANCÉ DE FORMA DEFICIENTE
- 3 LO ALCANCÉ DE FORMA REGULAR
- 4 LO ALCANCÉ BIEN
- 5 LO ALCANCÉ DE FORMA EXCELENTE

	Aprendizajes	1	2	3	4	5
1.	Puedo explicar las características del fenómeno de difracción de las ondas.					
2.	Conozco la hipótesis de de Broglie.					
3.	Conozco los experimentos realizados para comprobar la naturaleza dual de los electrones.					
4.	Entiendo el comportamiento dual de los electrones.					
5.	Puedo utilizar la hipótesis de de Broglie para interpretar el fenómeno de la difracción de electrones.					
6.	Entiendo el experimento de la difracción de electrones y puedo determinar la longitud de onda de los electrones.					
7.	Conozco algunas aplicaciones del experimento de difracción de electrones para determinar la estructura de la materia.					
8.	Puedo resolver algunos ejercicios numéricos relacionados con el experimento de la difracción de electrones y la hipótesis de de Broglie.					
9.	Conozco el principio de incertidumbre de Heisenberg					
10.	Entiendo a qué se le llama ondas de materia					
11.	Puedo mencionar algunas tecnologías actuales que se fundamentan en los principios básicos de la Física Cuántica.					

12. ¿Cuáles fueron las principales dificultades que se presentaron durante el desarrollo de las actividades experimentales? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

13. ¿Cuáles fueron los aprendizajes con mayor problema para su entendimiento?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



### ANEXO 3

#### COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES PLANTEL NAUCALPAN

##### Evaluación Unidad 3 Física y Tecnología Contemporáneas

Nombre del alumno: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_

*Instrucciones: Lee con atención cada una de las siguientes preguntas y escribe en el paréntesis de la derecha la opción que corresponde a la respuesta correcta.*

1. En una onda electromagnética, la relación que existe entre la frecuencia y la longitud de onda es: .....( )

- a) directamente proporcionales
- b) inversamente proporcionales
- c) iguales
- d) una es el cuadrado de la otra

2. Es la representación de toda la gama de ondas electromagnéticas mediante una clasificación de acuerdo con su longitud de onda y su frecuencia. ....( )

- a) Espectro de emisión
- b) efecto fotoeléctrico
- c) espectro de absorción
- d) espectro electromagnético.

3. ¿Cuál de ellas es una onda electromagnética de baja frecuencia? .....( )

- a) rayos X
- b) rayos gamma
- c) radiación infrarroja
- d) rayos cósmicos

4. Según los datos experimentales en la radiación de cuerpos incandescentes, ¿para qué valores de longitud de onda son válidas las fórmulas de Rayleigh - Jeans? ..( )

- a) longitudes de onda pequeñas
- b) longitudes de onda grandes

c) todo el rango de longitudes

d) no hay relación con la longitud de onda

5. El color de la radiación de un cuerpo negro depende únicamente de: .....( )

a) la forma

b) el tipo de material

c) la temperatura

d) su composición

6. De quién es la ley que afirma que: *Cualquier superficie a la temperatura "T" emite energía radiante con una rapidez que es proporcional al área de la superficie "A" y a la cuarta potencia de la temperatura*. .....( )

a) Planck

b) Wien

c) Kirchhoff

d) Boltzmann

7. ¿Cómo varían, la intensidad de la radiación emitida por un cuerpo negro y la longitud de onda al aumentar la temperatura? .....( )

a) aumenta la intensidad de la radiación y la longitud de onda al mismo tiempo

b) disminuye la intensidad de la radiación y la longitud de onda al mismo tiempo

c) aumenta la longitud de onda y disminuye la intensidad de la radiación

d) disminuye la longitud de onda y aumenta la intensidad de la radiación

8. El concepto de cuanto de radiación fue introducido en la Física Moderna por primera vez por : .....( )

a) Wien

b) Rayleigh - Jeans

c) Planck

d) Einstein

9. La hipótesis del cuanto de radiación establece que el intercambio de energía entre los osciladores de la cavidad y la radiación electromagnética es: ... ( )

- a) un múltiplo arbitrario del cuanto de radiación
- b) un valor fraccionario de la energía de la radiación incidente
- c) un múltiplo entero del cuanto de radiación
- d) no hay relación entre el intercambio de energía con los osciladores en la cavidad.

10. Los espectros atómicos se explican experimentalmente cuando se considera que suceden: ..... ( )

- a) transiciones entre los niveles continuos
- b) cambios en la orientación del electrón
- c) transiciones entre los niveles discretos
- d) cambios en la velocidad de la radiación

11. El modelo atómico que explica los espectros de emisión y absorción de un elemento es:

- a) el de Thomson ..... ( )
- b) el de Bohr
- c) el de Rutherford
- d) el de Planck

12. Aparecerá una banda continua de colores con algunas líneas negras que corresponderán a aquellas frecuencias determinadas haciendo referencia a la diferencia de energía entre los niveles energéticos del electrón en el átomo. .... ( )

- a) espectro de emisión
- b) efecto fotoeléctrico
- c) espectro de absorción
- d) espectro electromagnético.

13. Aparecerá una banda oscura con unas líneas brillantes de un color de acuerdo con la longitud de onda de la luz correspondiente a la diferencia de energía entre los niveles permitidos para el electrón. .... ( )

- a) espectro de emisión
- b) efecto fotoeléctrico
- c) espectro de absorción
- d) espectro electromagnético.

14. Cuando un electrón pasa de un nivel cuántico a otro, dicha transición va acompañada de la absorción o emisión de una cantidad de energía (en forma de onda electromagnética), cuya magnitud es igual a la diferencia de energía entre los dos niveles. ....( )

- a) primer postulado del modelo atómico de Bohr
- b) segundo postulado del modelo atómico de Bohr
- c) primer postulado de la teoría de la relatividad especial
- d) tercer postulado de la teoría atómica de Bohr.

15. Uno de los experimentos, más importantes de Heinrich Hertz se realizó para demostrar que la radiación es una onda electromagnética y se encontró que: .....( )

- a) La luz produce corrientes eléctricas al incidir sobre un metal
- b) Los electrones se difractan
- c) Los estados energéticos de un átomo son discretos
- d) La luz genera dipolos eléctricos al incidir sobre la superficie de un metal

16. Sugirió que la radiación se comportaba como si estuviera formada de paquetes discretos de energía, que posteriormente se denominaron fotones. ....( )

- a) Planck
- b) Boltzmann
- c) De Broglie
- d) Einstein

17. En el efecto fotoeléctrico el valor de la frecuencia en el umbral depende de: ..... ( )

- a) la corriente de saturación
- b) la potencia de la radiación
- c) el tipo de material del fotocátodo

d) la frecuencia de la radiación incidente

18. En una celda fotoeléctrica el voltaje de frenado mínimo se hace cada vez más negativo cuando: .....( )

a) la frecuencia de la radiación disminuye

b) la potencia de la radiación aumenta

c) la frecuencia de la radiación aumenta

d) la potencia de la radiación disminuye

19. Según la hipótesis de Einstein la energía de un fotón es igual al producto de la constante de Planck por la: .....( )

a) longitud de onda de la radiación

b) frecuencia

c) velocidad de la radiación

d) frecuencia de la radiación

20. Personaje que afirmó que una onda y corpúsculo son solamente dos manifestaciones del mismo ente. ....( )

a) Planck

b) Heisenberg

c) Einstein

d) De Broglie

21. El obtener máximos en la intensidad reflejada por un haz de electrones es una manifestación de que los electrones tienen propiedades: .....( )

a) corpusculares

b) electromagnéticas

c) ondulatorias

d) termodinámicas

22. A nivel cuántico, el electrón debe de representarse por medio de una: .....( )

a) corriente de saturación

- b) longitud de onda
- c) frecuencia de umbral
- d) onda de materia

23. Teóricamente es imposible determinar con exactitud la posición y la velocidad de una partícula simultáneamente. ....( )

- a) Planck
- b) Heisenberg
- c) Einstein
- d) De Broglie

*Instrucciones: Contesta brevemente lo que se pide.*

1. ¿Qué son las ondas electromagnéticas? Elabora un diagrama que las represente.

---

---

2. ¿Qué es la radiación? \_\_\_\_\_

---

3. ¿Teóricamente a qué se refiere la radiación de cuerpo negro?

---

---

4. ¿Cuáles son las limitaciones del modelo atómico de Bohr?

---

---

---

5. Menciona tres personajes que Bohr tomó como referencia para formular su modelo atómico.

---

---

6. ¿Qué es el efecto fotoeléctrico? \_\_\_\_\_

---

7. ¿Qué relación hay entre la frecuencia de la radiación y la energía cinética máxima de los fotoelectrones? \_\_\_\_\_

---

8. Menciona dos experimentos que son evidencia de la naturaleza dual del electrón.

---

9. Menciona algunas de las aplicaciones de la física cuántica en los avances de la ciencia y la tecnología. \_\_\_\_\_

---

*Ejercicios de aplicación. Instrucciones: de los siguientes ejercicios selecciona 5 para resolver. Es necesario que rescribas el procedimiento utilizado para resolverlos.*

1. Una placa delgada rectangular de 45 cm de largo y 18 cm de ancho, se encuentra a una temperatura de 600°C. Si su poder emisor es de 0.65, ¿cuál es la potencia de radiación de la placa? Nota:  $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ Watts/m}^2\text{K}^4$

2. ¿Cuál es la longitud de onda de la máxima intensidad de radiación para una superficie metálica que se encuentra a una temperatura de 450°C?

3. Para el efecto fotoeléctrico, se sabe que un material emite electrones cuando la energía del fotón es  $\geq \phi$ . ¿Emitirá electrones una superficie de cobre con una función trabajo de 1.24 eV cuando se ilumina con luz azul de 470 nm?

4. Cuando un material se ilumina con luz cuya longitud de onda es 300nm, la máxima energía cinética de los electrones emitidos es de 2.3 eV. Calcular la función trabajo.

5. El color amarillo de la luz de sodio posee una longitud de onda de 589 nm. Calcula la diferencia energética correspondiente a la transición electrónica que se produce; exprésala en eV.  $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}$  y un  $\text{eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$ .

6. ¿Cuál es la longitud de onda de de Broglie de un electrón que se mueve a una velocidad de  $2 \times 10^8 \text{ m/s}$ ? Nota: la masa del electrón es de  $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ .

## ANEXO 4

### FORMATO: DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE DE PLANCK

228

**Actividad 1. Medición de la constante de Planck<sup>1</sup>**

**Objetivo**  
Obtener la constante de Planck a partir de la función de trabajo de un LED.

**Material**  
Fuente de corriente directa  
Voltímetro y amperímetro  
Resistor de  $100\ \Omega$   
Diodos emisores de luz de diferentes colores (LED's)  
Cables y caimanes

**Desarrollo**  
Con uno de los LED arma el circuito de la figura 3.3. ¡No olvides que los LED son elementos que permiten el paso de la corriente en un solo sentido! de modo que si no prende al conectar el circuito, invierte la posición y vuelve a conectar.

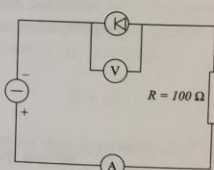


Fig. 3.3 Circuito para el cálculo de  $h$ .

Enciende la fuente y anota los valores iniciales de I y V. Incrementa en pasos de 0,25 V, registrando los valores correspondientes a la diferencia de potencial y a la intensidad de corriente eléctrica hasta alcanzar un máximo de 2,75 V. Anota los valores obtenidos en la siguiente tabla.

Voltaje	Intensidad de corriente eléctrica

<sup>1</sup> Adaptado de la experiencia presentada en el libro *Placa y creatividad experimentales. Paquete didáctico. Slidin I y II. Libro para el alumno*, de Mauricio Bravo Calvo, México, CCH, 2007.

Tabla 1



Con los datos obtenidos, traza la gráfica intensidad de corriente eléctrica contra voltaje:

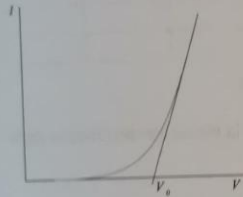


Fig. 3.4 Gráfica del comportamiento de un LED.

Traza una línea tangente como se muestra en la figura 3.4. Registra el valor del voltaje para el cual la tangente corta al eje de las abscisas,  $V_0$ .

Este voltaje, el cual llamaremos  $V_0$ , es el valor mínimo para el cual el LED empieza a brillar y se relaciona con la energía por la expresión

$$E = e V$$

Por lo que al sustituirla en la fórmula de la energía vista anteriormente:

$$E = h \frac{c}{\lambda}$$

y despejamos para obtener el valor de  $h$  a la que denominaremos  $h_c$  cuando el voltaje es  $V_0$ :

$$h_c = \frac{e V_0}{c} \lambda$$

La carga del electrón es  $e = -1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ , la velocidad de la luz en el vacío es  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$  y la longitud de onda  $\lambda$  es la asociada al color del LED utilizado, consulta tabla 2.

LED	Longitud de onda
verde	520 - 560 nm
amarillo	560 - 600 nm
naranja	600 - 625 nm
rojo	625 - 700 nm

Tabla 2

Como sugerencia, toma el valor medio del rango de validez de cada color como la longitud de onda más representativa. Repite la tabla 1 y la gráfica de la figura 3.4 tantas veces como LED uses.

En la tabla 3 anota el valor de  $h_c$  para el color empleado y compáralo con el valor proporcionado anteriormente.

Color	$V_0$	$\lambda$	$h_c$	$h$	$E_p$

Tabla 3

Calcula el porcentaje de error en la medición por medio de la expresión:

$$E_p = \frac{h_c - h}{h} \times 100 \%$$

1. Explica brevemente qué sucede a escala atómica en el momento que el LED se enciende: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
2. Explica el funcionamiento de un LED: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
3. ¿Cómo explicas el error en el valor experimental que se obtiene de  $h$ ? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
3. Compara los valores de  $h_c$  y anota tu conclusión: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## ANEXO 5

### FORMATO ACTIVIDAD EXPERIMENTAL: DIFRACCIÓN DE ELECTRONES

**Física atómica y nuclear**  
Experimentos introductorios  
*Dualismo onda-partícula*

**LD**  
Hojas de  
Física

**P6 1.5 1**

**Difracción de electrones en una red policristalina**  
(Difracción de Debye-Scherrer)

**Objetivos del experimento**

- Determinación de la longitud de onda de los electrones
- Verificación de la ecuación de de Broglie
- Determinación de la distancia reticular interplanar del grafito

**Principios**

En 1924 Louis de Broglie sugirió que las partículas podrían tener propiedades ondulatorias, además de las propiedades características de las partículas. Presentó la hipótesis de que la longitud de onda de las partículas es inversamente proporcional a su cantidad de movimiento.

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (1)$$

$\lambda$ : longitud de onda  
 $h$ : constante de Planck  
 $p$ : cantidad de movimiento

Sus conjeturas fueron confirmadas por los experimentos de Clinton Davison y Lester Germer sobre la difracción de electrones en estructuras cristalinas de níquel en 1927.

En este experimento se demuestra el carácter ondulatorio de los electrones por su difracción en una red policristalina de grafito (difracción de Debye-Scherrer). En contraposición al experimento de Davison y Germer, en el que la difracción de los electrones se observa por reflexión, este montaje usa un tipo de difracción por transmisión similar al utilizado por G. P. Thomson en 1928.

De los electrones emitidos por el cátodo caliente, un pequeño haz es separado por medio de un diagrama de pines. Luego de pasar por un sistema de enfoque óptico-electrónico, los electrones inciden en forma de un haz monocromático muy limitado en una lámina policristalina de grafito. Los átomos del grafito pueden ser considerados como una red espacial que actúa como una rejilla de difracción para los electrones. En la pantalla fluorescente aparece un patrón de difracción de dos anillos concéntricos, cuyo centro es el haz de electrones sin difractar (Fig. 1). El diámetro de los anillos concéntricos varía según la longitud de onda  $\lambda$  y por lo tanto

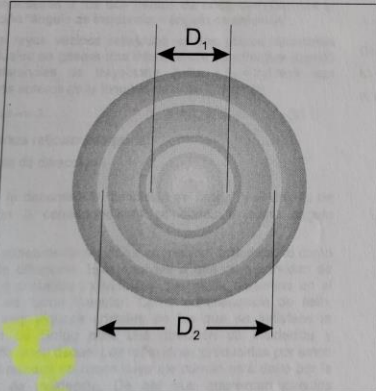


Fig. 1: Representación esquemática del patrón de anillos observado debido a la difracción de electrones en el grafito. Se observan dos anillos de diámetros  $D_1$  y  $D_2$  correspondientes a las distancias reticulares interplanares  $d_1$  y  $d_2$  (Fig. 3).

LD Didactic GmbH Leyboldstrasse 1 D-50354 Huerth / Alemania Teléfono: (02233) 604-0 Fax: (02233) 604-222 e-mail: info@ld-didactic.de

©por LD Didactic GmbH

Impreso en la República Federal de Alemania  
Se reservan las alteraciones técnicas

con la tensión de aceleración  $U$ , tal como se desprende de las siguientes consideraciones:

De la ecuación de energía para los electrones acelerados por la tensión  $U$

$$e \cdot U = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = \frac{p^2}{2m} \quad (II)$$

$U$ : tensión de aceleración

$e$ : carga del electrón

$m$ : masa de la partícula

$v$ : velocidad de la partícula

la cantidad de movimiento  $p$  se puede derivar como

$$p = m \cdot v = \sqrt{2 \cdot e \cdot m \cdot U} \quad (III)$$

Reemplazando la ecuación (III) en la ecuación (I) resulta para la longitud de onda:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2 \cdot m \cdot e \cdot U}} \quad (IV)$$

En 1913, H. W. y W. L. Bragg descubrieron que la disposición regular de los átomos en un cristal simple podría entenderse como una matriz de elementos reticulares en planos reticulares paralelos. Entonces, al exponer esta red cristalina a rayos X monocromáticos o electrones monoenergéticos y, además, suponiendo que éstos tienen una naturaleza ondulatoria, cada elemento en un plano reticular actúa como un "punto de dispersión", en el cual se forma un tren de ondas esféricas. Según el principio de Huygens, estos trenes de ondas esféricas se superponen y crean un frente de ondas "reflejado". En este modelo, la longitud de onda  $\lambda$  no se modifica respecto del frente de onda "incidente", y las direcciones de las radiaciones que son perpendiculares a los dos frentes de onda cumplen con la condición "ángulo de incidencia = ángulo de reflexión".

En los rayos vecinos reflejados en los planos reticulares individuales se genera una interferencia constructiva cuando las diferencias de trayectoria  $\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 = 2 \cdot d \cdot \sin \vartheta$  son múltiplos enteros de la longitud de onda  $\lambda$  (Fig. 2):

$$2 \cdot d \cdot \sin \vartheta = n \cdot \lambda \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (V)$$

$d$ : distancia reticular interplanar

$\vartheta$ : ángulo de difracción

Esta es la denominada "condición de Bragg" y el ángulo de difracción  $\vartheta$  correspondiente es conocido como ángulo rasante.

En este experimento se utiliza un material policristalino como objeto de difracción. Esto equivale a una gran cantidad de pequeños cristalitas individuales que están dispersos en el espacio en forma irregular. Como consecuencia de esto, siempre hay algunos cristales en los que se satisface la condición de Bragg para una dirección de incidencia y longitud de onda dadas. Las reflexiones producidas por estos cristalitas quedan en conos cuyo eje común está dado por la dirección de incidencia. De ahí que aparezcan círculos concéntricos en una pantalla ubicada perpendicular a este eje. Los planos reticulares que son importantes para el patrón de difracción de los electrones obtenido con este montaje tienen las distancias reticulares interplanares (Fig. 3):

$$d_1 = 2,13 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

$$d_2 = 1,23 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

De la Fig. 4 se puede deducir la relación

$$\tan 2 \cdot \vartheta = \frac{D}{2 \cdot L} \quad (VI)$$

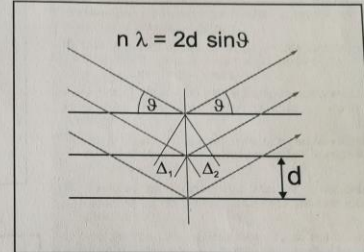


Fig. 2: Representación esquemática de la condición de Bragg.

Aproximando  $\tan 2 \cdot \vartheta = \sin 2 \cdot \vartheta = 2 \cdot \sin \vartheta$  para ángulos pequeños se obtiene

$$2 \cdot \sin \vartheta = \frac{D}{2 \cdot L} \quad (VII)$$

La sustitución de la ecuación (VII) en (V) lleva la difracción de primer orden ( $n = 1$ ) a

$$\lambda = d \cdot \frac{D}{2 \cdot L} \quad (VIII)$$

$D$ : diámetro del anillo

$L$ : distancia entre el grafito y la pantalla

$d$ : distancia reticular interplanar

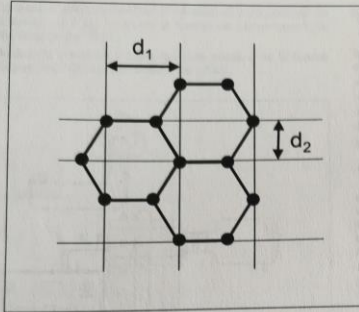


Fig. 3 Distancias reticulares interplanares en el grafito:  
 $d_1 = 2,13 \cdot 10^{-10} \text{ m}$   
 $d_2 = 1,23 \cdot 10^{-10} \text{ m}$

#### Materiales

1 tubo de difracción de electrones.....	555 626
1 portatubo .....	555 600
1 fuente de alimentación de alta tensión 10 kV.....	521 70
1 calibre Vernier de precisión.....	311 54
1 cable de seguridad de 25 cm rojo .....	500 611
1 cable de seguridad de 50 cm rojo .....	500 621
1 cable de seguridad de 100 cm rojo.....	500 641
1 cable de seguridad de 100 cm azul.....	500 642
2 cables de seguridad de 100 cm negros.....	500 644

Según la ecuación (IV), la longitud de onda  $\lambda$  está determinada por la tensión de aceleración  $U$ . La combinación de las ecuaciones (IV) y (VIII) muestra que los diámetros  $D_1$  y  $D_2$  de los anillos concéntricos cambian en función de la tensión de aceleración  $U$ :

$$D = k \cdot \frac{1}{\sqrt{U}} \quad (\text{IX})$$

con

$$k = \frac{2 \cdot L \cdot h}{d \cdot \sqrt{2 \cdot m \cdot e}} \quad (\text{X})$$

La medición de los diámetros  $D_1$  y  $D_2$  en función de la tensión de aceleración  $U$  permite determinar las distancias reticulares interplanares  $d_1$  y  $d_2$ .

#### Notas de seguridad

Cuando el tubo de difracción de electrones es operado a altas tensiones superiores a 5 kV se generan rayos X.

- No opere el tubo de difracción de electrones a tensiones superiores a los 5 keV.

La conexión del tubo de difracción de electrones con ánodo a tierra indicada en esta Hoja de instrucciones requiere de una fuente de tensión a prueba de alta tensión para calentar el cátodo.

- Use la fuente de alimentación de alta tensión de 10 kV (521 70) para la alimentación de tensión del tubo de difracción de electrones.

Peligro de implosión: El tubo de difracción de electrones es un tubo de alto vacío con paredes de vidrio muy delgadas.

- No someta al tubo de difracción de electrones a esfuerzos mecánicos, y conéctelo únicamente si está montado en el portatubo.

- Manipule con cuidado las clavijas conectoras del casquillo, no las doble y colóquelas con cuidado en el portatubo.

El tubo de difracción de electrones puede romperse si se le suministran tensiones o corrientes demasiado altas:

- Atégase a los parámetros de operación indicados en los datos técnicos.

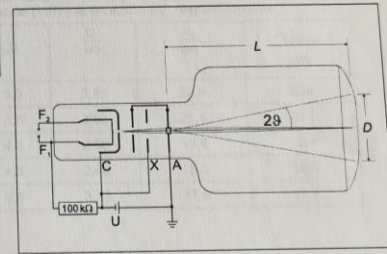


Fig. 4: Bosquejo esquemático para determinar el ángulo de difracción.  
 $L = 13,5 \text{ cm}$  (distancia entre la lámina de grafito y la pantalla),  
 $D$ : diámetro de un anillo de difracción observado en la pantalla.  
 $2\theta$ : ángulo de difracción.  
 Para el significado de  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $C$ ,  $X$  y  $A$  ver Fig. 5.

#### Montaje

La Fig. 5 muestra el montaje experimental (diagrama de cableado).

- Conecte los enchufes hembra para calentar el cátodo  $F_1$  y  $F_2$  del portatubo a la salida en la parte trasera de la fuente de alimentación de alta tensión de 10 kV.
- Conecte los enchufes hembra  $C$  (tapa del cátodo) y  $X$  (electrodo de enfoque) del portatubo al polo negativo.

- Conecte el enchufe hembra A (ánodo) al polo positivo de la salida de 5 kV/2 mA de la fuente de alimentación de alta tensión de 10 kV.
- Realice la conexión a tierra del polo positivo de la fuente de alimentación de alta tensión de 10 kV.

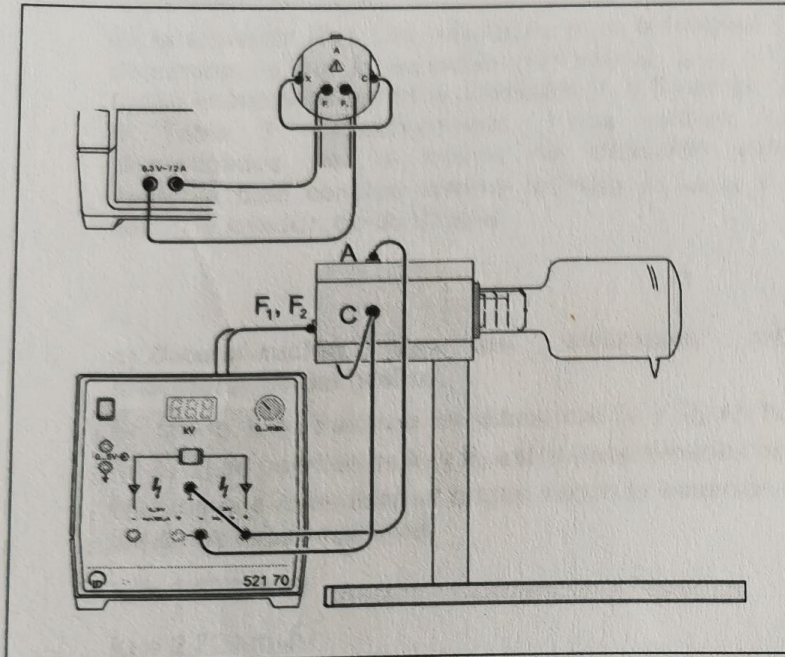
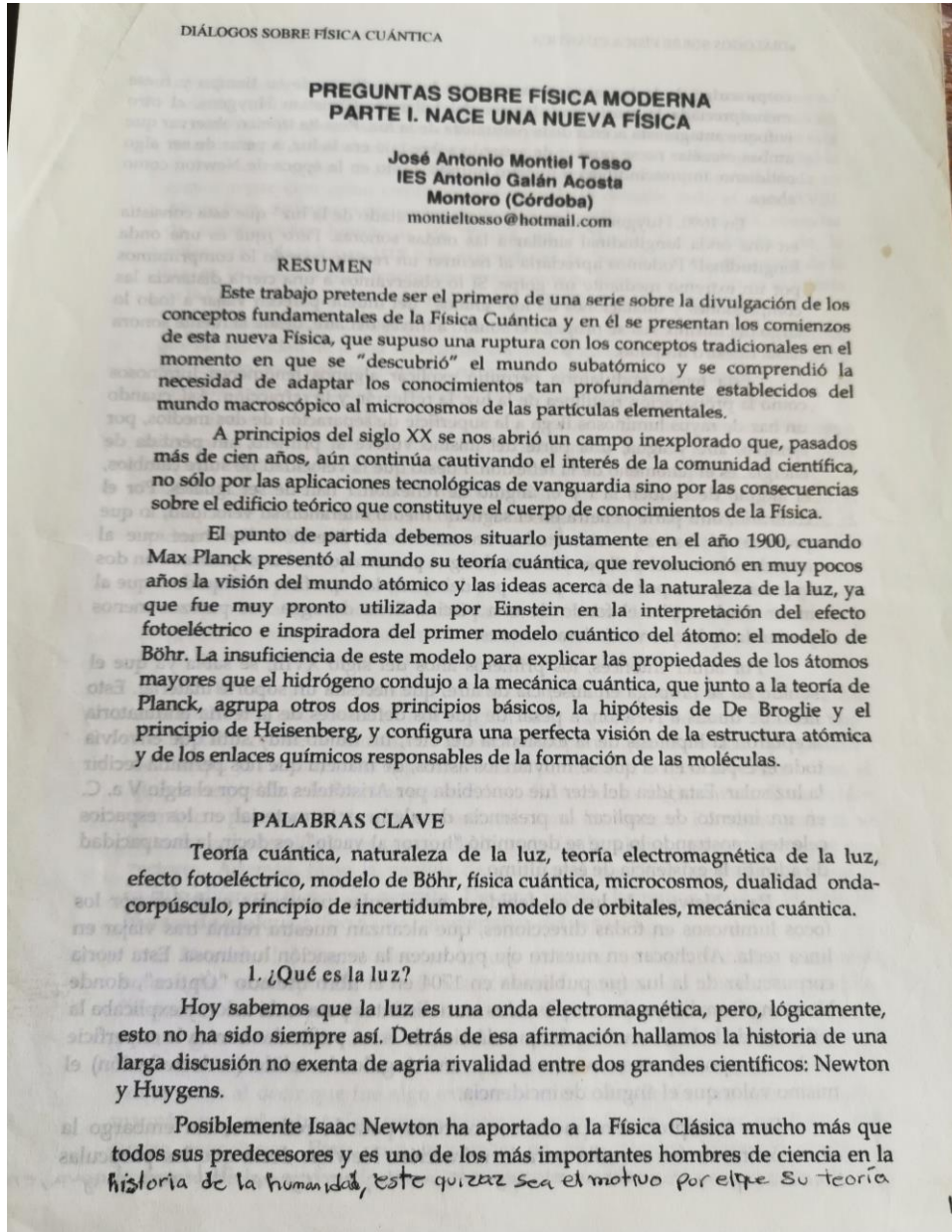


Fig. 5: Montaje experimental (diagrama de cableado) para observar la difracción de los electrones en el grafito.  
 Conexión de pines:  
 F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>: enchufes hembra para calentar el cátodo  
 C: tapa del cátodo  
 X: electrodo de enfoque  
 A: ánodo (con lámina de grafito policristalino, ver Fig. 4)

## ANEXO 6

### LECTURA PARA ALUMNOS



corpúscular de la luz arraigó tanto entre los estudiosos de su tiempo y fuese menospreciada la teoría ondulatoria del holandés Christian Huygens, el otro enfoque antagonista acerca de la naturaleza de la luz. Resulta irónico observar que ambas escuelas no se ponían de acuerdo sobre qué era la luz, a pesar de ser algo cotidiano, imprescindible en nuestro mundo, tanto en la época de Newton como ahora.

En 1690, Huygens publicó en su obra "Tratado de la luz" que ésta consistía en una onda longitudinal similar a las ondas sonoras. Pero ¿qué es una onda longitudinal? Podemos apreciarla al recorrer un resorte cuando lo comprimimos por un extremo mediante un golpe. Si lo observamos a una cierta distancia las compresiones y dilataciones de los "anillos" del muelle parecen viajar a todo lo largo del mismo. Así se propaga el sonido a través del aire, desde la fuente sonora hasta nuestro tímpano.

Esta teoría ondulatoria permitió explicar algunos fenómenos luminosos como la propagación rectilínea de la luz, la reflexión y la refracción. Así, cuando un haz de rayos luminosos llega a la superficie de separación de dos medios, por ejemplo, aire y agua, una parte del mismo vuelve al primero, sin pérdida de energía, es el fenómeno de la reflexión. Puesto que la velocidad no sufre cambios, el ángulo de incidencia  $i$  y el ángulo de reflexión  $r$  han de ser iguales. Por el contrario, otra parte penetra en el segundo medio alterando su velocidad, lo que provoca en los rayos refractados un cambio de dirección. Eso hace que al introducir una cucharilla en un vaso de agua parezca que se haya quebrado en dos fragmentos, uno por encima y otro por debajo de la superficie del líquido o que al mirar desde arriba el fondo de una piscina llena de agua nos parezca menos profunda de lo que verdaderamente es.

Por aquel entonces, los primeros años del siglo XVIII, se sabía ya que el sonido no se propaga en ausencia de aire, que necesita un soporte material. Esto llenó de dudas a Newton, a pesar de que los defensores de la teoría ondulatoria aceptaron la hipótesis de la existencia del éter, un fluido muy sutil que envolvía todo el espacio en el que se movían los astros, de manera que nos permitía recibir la luz solar. Esta idea del éter fue concebida por Aristóteles allá por el siglo V a. C. en un intento de explicar la presencia de algún ente material en los espacios celestes, mostrando lo que se denominó "horror al vacío", es decir, la incapacidad de admitir la existencia de éste último.

Para Newton, la luz es debida a minúsculas partículas emitidas por los focos luminosos en todas direcciones, que alcanzan nuestra retina tras viajar en línea recta. Al chocar en nuestro ojo producen la sensación luminosa. Esta teoría corpúscular de la luz fue publicada en 1704 en el libro titulado "Óptica", donde Newton afirmaba que los corpúsculos eran distintos para cada color, y explicaba la reflexión de la luz como un choque elástico de estas partículas contra la superficie de los cuerpos opacos, conservando como ángulo de salida (o de reflexión) el mismo valor que el ángulo de incidencia.

Esta interpretación puede ser correcta para la reflexión, sin embargo la situación no es tan sencilla para la refracción. Newton decía que las partículas luminosas que atravesaban el segundo medio, por ejemplo del aire al agua, eran



atraídas de algún modo por las partículas de éste de forma que incrementaban su velocidad en el eje perpendicular a la superficie de separación. El resultado era un rayo refractado que se acercaba a dicha perpendicular. Como consecuencia de esta interpretación la velocidad de la luz en el agua y, en general, en los líquidos, había de ser mayor que en el aire. Siempre pesó más la opinión de Newton, dada su mayor reputación como científico, que prevaleció durante todo el siglo XVIII. Ahora bien, distintas experiencias realizadas en los albores del siglo XIX, como las de interferencias luminosas de Young en 1801, el descubrimiento de la polarización de la luz en 1808 o las experiencias de Fresnel sobre la difracción de la luz en 1815, todos ellos fenómenos típicamente ondulatorios, volvieron el interés de la Ciencia hacia la hipótesis ondulatoria (ARMERO, J. et al., 2002).

Finalmente, en 1850 llegó la prueba definitiva: el francés Foucault comprobó que la velocidad de la luz en el agua era menor que en el aire, lo que anulaba la explicación de Newton para la refracción. Eso zanjaba la cuestión sobre la naturaleza de la luz después de siglo y medio...al menos por el momento.

Entre los años 1861 y 1864 la Física dio un salto cualitativo en su cuerpo teórico. La idea de campo de fuerzas ya existía en la mente de los científicos, pues Faraday explicó así la acción a distancia de un imán, por ejemplo. Sin embargo, el matemático británico James C. Maxwell llegó mucho más lejos. Adoptando el concepto de función potencial o potencial escalar, que es la función definida en cada punto del espacio cuyos valores se corresponden con los del campo vectorial de fuerzas (eléctrico o magnético) existente allí y que pueden derivarse mediante una sencilla operación (el gradiente) aplicada a dicho potencial, fue capaz de resumir en cuatro ecuaciones todas las propiedades de los campos eléctricos y magnéticos, demostrando al mismo tiempo su indisolubilidad y coexistencia en todos los puntos del espacio que rodea a las cargas aceleradas.

Este concepto de potencial es una interpretación matemática de las fuerzas existentes en una determinada región del espacio. Podemos "olvidarnos" momentáneamente de la causa de la fuerza y suponer que ella es una "propiedad" del campo y, en suma, del espacio. A cada punto se le asigna un cierto valor, el que corresponde a la función potencial en dicho punto, lógicamente. Es un valor numérico, pues no tiene carácter vectorial como las fuerzas. Por consiguiente, se trata de una simplificación, pues resulta más fácil trabajar con números que con vectores. Además, tiene la ventaja de que no se pierde información, ya que el cálculo diferencial nos lo permite. De este modo, logramos reducir la idea de fuerzas de cualquier tipo a una característica del espacio.

Una de las tareas de los físicos teóricos es hallar dichas funciones potenciales correspondientes a los diversos campos de fuerzas conocidos. Precisamente, este prodigio de síntesis para el campo electromagnético fue el primer gran éxito del cálculo diferencial e integral en el mundo de la Física y demostró la dependencia de esta disciplina del desarrollo de las matemáticas. No exageramos al decir que fue algo extraordinario: todos los fenómenos eléctricos y magnéticos, antes tratados separadamente, se pudieron explicar mediante sólo cuatro ecuaciones. Pero, aun hay más, en sus cálculos Maxwell predijo la existencia de las ondas electromagnéticas para explicar la propagación de este

campo electromagnético en el espacio, y sin necesidad de soporte material, hallando también que dichas ondas tenían que viajar a la velocidad de la luz.

En consecuencia, según Maxwell, la luz es una onda electromagnética. Pocos años después, en 1887, el alemán Hertz, obtuvo experimentalmente estas ondas electromagnéticas, confirmando las geniales suposiciones de Maxwell. (TIPLER, P. A., 1996).

Ya sabemos qué es la luz, pero esto nos lleva a preguntarnos...

## 2. ¿Cómo interacciona luz con la materia?

La radiación térmica es la energía electromagnética emitida por un cuerpo debido a su temperatura. En general, depende también de la composición del cuerpo, excepto en los denominados cuerpos negros, es decir, los sólidos cuya capacidad de absorción es máxima. Una cavidad con un pequeño orificio, cuyas paredes interiores estén pintadas de negro es un buen ejemplo, pues absorbe toda la radiación que incide en el agujero.

Ahora bien, experimentalmente se comprueba que estos cuerpos negros también emiten una determinada radiación, cuya energía por unidad de superficie sólo depende de su temperatura. Además, al estudiar la energía emitida en función de la longitud de onda se comprueba que es muy baja para longitudes de onda pequeñas (zona del ultravioleta), tiene un máximo hacia la región visible y vuelve a disminuir a longitudes de onda mayores (infrarrojo).

Cuando Rayleigh y Jeans intentaron justificar este hecho usando los conceptos de la física clásica, es decir, los principios del electromagnetismo, hallaron que el tipo de variación que era previsible para la energía sólo se ajustaba correctamente a los datos experimentales en los valores más altos de la longitud de onda, siendo totalmente contrarios en la región ultravioleta. Tanto es así que esta discrepancia entre la fórmula de Rayleigh-Jeans y los resultados experimentales se conoce en física con el nombre de "catástrofe ultravioleta" (CARTMELL Y FOWLES, 1976).

En dicha tesitura surge en 1900 la figura de Max Planck, un físico-matemático que hasta entonces no había aportado nada especial a la comunidad científica pero que se iba a convertir en el creador de una de las dos teorías que revolucionarían la física a principios del siglo XX, transformándola hasta el punto de considerarla como física moderna y estableciendo una nueva visión en el tratamiento de los fenómenos naturales para el mundo subatómico al presentar su hipótesis cuántica. Lógicamente, la otra teoría antes aludida es la relatividad de Einstein, que ha modificado el estudio de la gravitación y de las grandes velocidades y que ha de aplicarse conjuntamente a la de Planck en la interpretación del mundo subatómico.

Volviendo a la teoría cuántica, Planck imagina que los átomos se comportan como osciladores armónicos minúsculos cuando absorben o emiten energía. Un oscilador armónico clásico puede ser un objeto de masa  $m$  unido a un resorte elástico realizando un movimiento vibratorio armónico simple. La mecánica clásica demuestra que la energía de este oscilador viene dada por la expresión

$$E = \frac{1}{2} k A^2$$

donde  $k$  es la constante elástica del oscilador y  $A$  es la amplitud de la vibración. Por otro lado, si recordamos que la constante elástica es directamente proporcional al cuadrado de la frecuencia de oscilación concluimos que la energía emitida por un oscilador armónico es proporcional al cuadrado de la amplitud y al cuadrado de la frecuencia de las vibraciones.

Y aquí llega la genial aportación de Planck. Puesto que observó que la función obtenida para la energía no servía en la interpretación de la radiación del cuerpo negro supuso que la energía emitida o absorbida por los osciladores atómicos era proporcional a su frecuencia de oscilación. Matemáticamente, eliminó el cuadrado en el exponente de la frecuencia, convirtiendo a la energía en una función lineal:

$$E_0 = h f \quad (h \text{ es la constante de Planck, } 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}).$$

Así pues, la energía total  $E$  emitida o absorbida por una sustancia será un múltiplo de dicha unidad fundamental  $E_0$ :  $E = n h f$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ). Esto también implica que la energía no puede adoptar cualquier valor, sino que está limitada a los múltiplos de dicha unidad fundamental o cuanto. Decimos que la energía está cuantizada. Este es un concepto opuesto al de la mecánica clásica, donde la energía puede tomar un conjunto continuo de valores. La idea de "discontinuidad" es exclusiva del mundo atómico y es antagónica a la percepción que tenemos de la naturaleza.

Rápidamente, la teoría de Planck, a la que en un principio ni su propio autor le dio demasiada importancia y que la trató más bien como un juego matemático, se vio que justificaba perfectamente los resultados de la radiación del cuerpo negro, no sólo en la zona visible o infrarroja, sino en la del ultravioleta, donde había fracasado estrepitosamente la mecánica newtoniana.

3. ¿Sirvió la teoría cuántica para interpretar otros fenómenos además de la radiación del cuerpo negro?

En cuanto Einstein, un discreto funcionario de la oficina de patentes alemana, tuvo conocimiento de la teoría cuántica la utilizó para explicar con éxito el efecto fotoeléctrico en 1905, lo que le valió el reconocimiento internacional hasta el punto de que le concedieran el premio Nobel.

Hertz descubrió en 1887 que al incidir la luz (visible o UV) sobre muchos metales, éstos desprendían electrones. Es el llamado efecto fotoeléctrico. Posteriormente se comprobó que cada metal posee una frecuencia mínima de la radiación incidente, conocida como frecuencia umbral, por debajo de la cual no hay emisión. Además, se vio que a mayor frecuencia incidente mayor es la energía cinética de los electrones emitidos (fotoelectrones).

Según la física clásica el efecto debería darse a cualquier frecuencia, sólo sería necesaria una intensidad suficiente de la radiación que llega al metal. Además, a mayor intensidad incidente tendrían que salir los fotoelectrones con

mayor energía cinética. En resumen, los conceptos clásicos sobre la radiación no podían explicar el efecto fotoeléctrico.

Sin embargo, Einstein, en 1905, amplió la teoría cuántica de Planck. Dijo que no sólo los átomos pueden absorber o emitir energía en forma de cuantos o "paquetes de energía", sino que la propia radiación se propaga también en forma de cuantos. Así, la luz, igual que todas las radiaciones electromagnéticas, está cuantizada en unidades llamadas fotones.

De este modo, si la luz que incide sobre una superficie metálica está formada por fotones de frecuencia  $f$  y de energía  $E = h f$ , cuando un fotón choque contra un electrón lo podrá "arrancar" del metal siempre que su energía ( $E$ ) sea superior a la energía umbral ( $W$ ), que es la que mantiene unido al electrón en el metal. Si esto ocurre, la diferencia de energía entre  $E$  y  $W$  la llevará el electrón como energía cinética, puesto que el fotón es absorbido por él. La expresión matemática es la ecuación fotoeléctrica:

$$E_c = h f - W$$

donde  $E_c$  es la energía cinética de los fotoelectrones,  $f$  es la frecuencia de la luz incidente y  $W$  es la energía umbral, también llamada función trabajo, característica de cada metal).

Einstein fue el primer científico en observar las enormes posibilidades de la teoría cuántica, si bien debemos a Niels Böhr el mérito de haber sido el primero en utilizarla para elaborar un modelo atómico con el que logró explicar el espectro del hidrógeno en 1913.

#### 4. ¿Qué son los espectros atómicos?

Cuando se vaporiza una sustancia y se calienta observamos que emite luz de diversas longitudes de onda que, tras separarlas en un prisma óptico, pueden registrarse, constituyendo el *espectro de emisión* de la sustancia estudiada. Es posible que predomine un único color, como el amarillo de las lámparas de vapor de sodio, el rojo de las lámparas de neón o el azul verdoso de mercurio. En cualquier caso, el espectro está formado por varias líneas de longitudes de onda determinadas, separadas por regiones de oscuridad total y, lo más importante, características de cada elemento, por lo que es un método muy bueno de análisis químico, ya que lo identifica inequívocamente. Puesto que el grosor (intensidad) de las líneas espectrales es proporcional a la concentración de dicho elemento en la muestra, su aplicación en análisis cuantitativo también está muy extendida.

Ba



Ne



Espectros de emisión del bario y del neón

Cuando queremos obtener el *espectro de absorción* de un elemento, éste se vaporiza e ilumina con luz blanca, la cual pasa a través de la muestra, recogiendo las radiaciones transmitidas en una placa fotográfica. Este espectro de absorción está formado por rayas oscuras sobre el espectro de la luz blanca, de modo que su posición (longitud de onda o frecuencia) se corresponde con la línea equivalente en el espectro de emisión del mismo elemento.

Balmer estudió con detenimiento el espectro del hidrógeno y halló una relación matemática entre las longitudes de onda de las diferentes líneas. Posteriormente, Lyman, Paschen, Brackett y Pfund observaron nuevas series de líneas espectrales que mostraban una relación análoga. Rydberg unificó en una sola fórmula todas las series anteriores:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

donde R es una constante igual a  $1,097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$  y  $n_1$  y  $n_2$  son números naturales, de modo que para  $n_1 = 1$  y dando valores a  $n_2$ , obtenemos las líneas de la serie de Lyman. Haciendo igual con  $n_1 = 2$  se consigue la serie de Balmer, con  $n_1 = 3$  la de Paschen, con  $n_1 = 4$  la de Brackett y con  $n_1 = 5$  la de Pfund (FIDALGO, J. A. y FERNÁNDEZ M, 1991).

##### 5. ¿Cómo aplicó Bóhr la teoría cuántica en su modelo atómico?

El danés Niels Bóhr, discípulo de Rutherford, basó su modelo en unos sencillos postulados de los cuales derivó las expresiones de los radios y las energías de las órbitas electrónicas y aplicó la ecuación de Planck para calcular los cambios energéticos asociados a las transiciones o saltos del electrón cuando se mueve desde una órbita a otra en el átomo de hidrógeno, al considerar las interacciones eléctricas con el protón del núcleo.

Este modelo es el primero que incorpora la visión actual de la física atómica, porque introduce la idea de que los valores de la energía (y del radio de las órbitas) no pueden ser cualesquiera sino que están cuantizados. No obstante, sigue prevaleciendo la existencia de órbitas electrónicas, que concuerdan perfectamente con el concepto clásico de trayectoria.

El modelo de Bóhr para el átomo de hidrógeno data de 1913 y se construye a partir de dos postulados:

I) El electrón gira en torno al núcleo, sin perder energía, en órbitas circulares estacionarias que cumplan la condición de que el momento angular del electrón sea un múltiplo entero de la constante de Planck:

$$m v 2 \pi R = n h \quad (m v 2 \pi R \text{ es el momento angular})$$

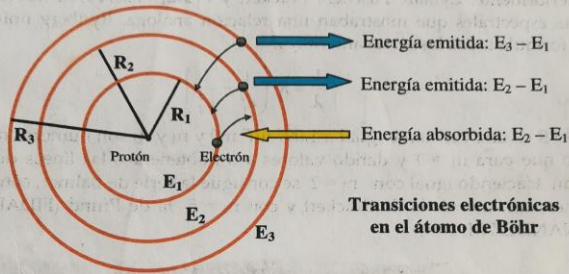
donde  $m$  es la masa del electrón;  $v$ , su velocidad;  $R$ , el radio de la órbita;  $h$ , la constante de Planck y  $n = 1, 2, 3, 4, \dots$

II) El átomo sólo emite o absorbe energía cuando el electrón pasa de una órbita a otra inferior o superior, respectivamente. La energía emitida o absorbida en forma de radiación electromagnética es igual a la diferencia de energía entre ambos

$$\Delta E = E_2 - E_1 = h f$$

siendo  $E_1$  y  $E_2$  las energías de las órbitas inicial y final entre las que se produce la transición,  $h$  la constante de Planck y  $f$  la frecuencia de la radiación emitida o absorbida.

En la figura siguiente se representan varias transiciones que dan origen a sus correspondientes líneas espectrales (hay señaladas dos líneas de emisión y una de absorción).



Además, Bohr calculó el valor de las energías de los diferentes niveles, llegando a la expresión siguiente cuando se mide en electronvoltios:

$$E_n = -\frac{13,6}{n^2} \text{ eV} \quad (n = 1, 2, 3 \dots \text{e indica la órbita considerada})$$

La idea central del modelo afirma que el átomo de hidrógeno sólo emite o absorbe energía cuando el electrón pasa de una órbita a otra inferior o superior, respectivamente y permanece estacionario mientras el electrón se mueva en una determinada órbita, conservando así su estabilidad indefinidamente. (DIAZ PEÑA, M. y ROIG MUNTANER, 1976).

6. ¿El modelo de Bohr para el átomo de hidrógeno es aplicable a otros átomos?

El modelo de Bohr sólo permitía explicar suficientemente bien el espectro del Hidrógeno, sin embargo fallaba con los demás átomos. En primer lugar, los valores calculados de los números de onda eran algo mayores que los experimentales, pues al aumentar el número atómico, el valor de  $R$  de la fórmula de Rydberg no era constante, sino que crecía ligeramente. Otro de los inconvenientes surge con espectrógrafos de mejor poder de resolución al encontrar que muchas de las rayas espectrales eran en realidad dobletes, tripletes... dos, tres o más rayas muy próximas entre sí. Por otro lado, si el átomo se coloca en un campo magnético, algunas rayas simples se desdoblán a su vez, lo que se conoce por efecto Zeeman.