



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**MAESTRÍA EN DOCENCIA PARA LA
EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR
FACULTAD DE CIENCIAS**

**Secuencia didáctica para la enseñanza Física en la Educación
Media Superior: radiación de cuerpo negro y sus antecedentes**

TESIS

QUE PARA OPTAR EL GRADO DE:
**MAESTRO EN DOCENCIA
PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR (FÍSICA)**

PRESENTA:
JULIO ARMANDO DÍAZ JUÁREZ

DIRECTORA DE TESIS:
DRA. MIRNA VILLAVICENCIO TORRES
FACULTAD DE CIENCIAS

CIUDAD UNIVERSITARIA, CIUDAD DE MÉXICO, AGOSTO 2021.



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.

Índice

I.	Introducción	1
I.1	Planteamiento del problema.	2
I.1.a	El escaso aprecio de los estudiantes hacia su educación.....	3
I.1.b	El problema de la enseñanza tradicional.	4
I.1.c	Puntos de cuidado en la enseñanza de la radiación de cuerpo negro, delimitación de temas tabla Representación de contenido (Co.Re).....	7
I.1.d	Objetivos generales.....	9
I.1.e	Objetivos específicos de habilidades.	9
I.1.f	Objetivos específicos de aprendizaje.....	10
II.	Marco Teórico	13
II.1	La importancia de la educación en la sociedad.....	13
II.2	El aprendizaje situado.	14
II.3	El aprendizaje basado en problemas (ABP).....	16
II.4	La motivación en el aprendizaje.....	18
II.5	Experimentos demostrativos en el aula.....	20
III.	Diseño de una secuencia didáctica para la enseñanza de la radiación de cuerpo negro.	22
III.1	Las actividades motivadoras de apertura.	22
III.1.a	El espectro electromagnético.....	22
III.1.b	Interacción entre ondas electromagnéticas y materia.	23
III.1.c	Absorción de energía y efecto fotoeléctrico.	24
III.1.d	Contexto histórico y social en torno a la solución de la catástrofe del ultravioleta.	24
III.1.e	Emisión de luz visible.....	25
III.2	La incorporación de actividades experimentales situadas.	25
III.2.a	Experimento 1.	26
III.2.b	Experimento 2.	28
III.2.c	Experimento 3.	31
III.3	La secuencia didáctica propuesta.	33
III.3.a	Primer clase.....	33
III.3.b	Segunda clase.....	37
III.3.c	Tercer clase.....	40
III.3.d	Cuarta clase.....	43
III.3.e	Quinta clase.....	47

III.4 Modificación de la secuencia didáctica para ser implementada a distancia.	47
III.4.a Actividad 1.	48
III.4.b Actividad 2.	48
III.4.c Actividad 3.	49
III.4.d Actividad 4.	49
III.4.e Actividad 5.	49
III.4.f Actividad 6.	50
IV. Resultados.	51
IV.1 Implementación de la secuencia didáctica y resultados obtenidos.	51
IV.2 Análisis del cuestionario de opinión.	53
IV.3 Resultados de la implementación de la secuencia didáctica adaptada a la enseñanza a distancia.	55
IV.3.a Análisis por pregunta de opción múltiple.	57
IV.3.b Análisis de la primera pregunta abierta.	65
IV.3.c Análisis de la segunda pregunta abierta.	68
IV.3.d Análisis de la tercera pregunta abierta.	70
V. Conclusiones.	73
VI. Anexos.	75
Anexo I. Pretest.	75
Anexo II. Tarea aplicaciones de las ondas electromagnéticas.	77
Anexo III. Hoja de actividades de la segunda clase.	78
Anexo IV. Resumen de la tercer clase e instrucciones de tarea.	80
Anexo V. Postest.	82
Anexo VI. Tabla de Representación de contenido (Co.Re).	85
Anexo VII. La Radiación de Cuerpo Negro y sus antecedentes.	87
VII. Referencias.	104

AGRADECIMIENTOS

A mi mamá.

Eres soporte, modelo, guía y acompañante. Por medio de un increíble sacrificio y esfuerzo constante, tú sola has logrado que mi hermano y yo seamos personas de bien. Mi desarrollo, el trabajo permanente por alcanzar mis sueños, la perseverancia para superar las dificultades y todos mis logros académicos han sido producto de tu amor y apoyo incondicional que me han motivado y animado a levantarme en muchas ocasiones. No importan las palabras de las personas si no son congruentes con sus acciones y el ejemplo que me das día a día me ha enseñado a pensar en mí y en los otros, a ser honesto, a trabajar y a esforzarme siempre, sin perder de vista que también hay tiempo para el afecto y las emociones, el gozo de la belleza, el disfrute de lo simple y la diversión.

A la Dra. Mirna Villavicencio.

Cuando no tienes claridad en los pasos a seguir para salir adelante es asombroso cómo una persona con la suficiente luz puede guiar tu camino. Ha sido invaluable tu apoyo en mi formación: tus enseñanzas y ayuda desinteresada fueron el faro que me dirigió en la conclusión de la licenciatura y durante la maestría has sido el puerto donde se recargan suministros y se descansa el espíritu; por ello te estaré agradecido toda la vida.

A Consuelo.

Por la paciencia y el apoyo en todo momento durante la elaboración de este trabajo. Por las aportaciones y consejos para hacerme crecer como persona.

A mis amigas Tiffani y Brenda, con quienes tuve la suerte de compartir esta aventura de conocimientos y autodescubrimiento. No cabe duda de que gracias a ustedes esta etapa ha sido de los mejores momentos en mi vida, con el mayor crecimiento personal y académico.

A mis tutores, profesores y sinodales, por todas las enseñanzas, correcciones y apoyo.

I. Introducción

La formación integral de un individuo se basa tanto en el desarrollo de sus habilidades sociales como cognitivas. Dentro de estas habilidades existe una amplia variedad, de las cuales algunas serán profundizadas en el desarrollo de este trabajo. Por la naturaleza de la asignatura de Física podemos encontrar que, mediante su enseñanza, los alumnos pueden desarrollar distintas habilidades sociales y cognitivas, tales como habilidades lógico-matemáticas, pensamiento crítico y científico, resolución de problemas, trabajo en equipo y memorización, entre otras. Si bien no es el objetivo de este trabajo medir las habilidades adquiridas por los alumnos es importante tener en consideración con qué propósito un profesor implementa las actividades en un grupo, ya que éstas podrán tener objetivos más allá de la adquisición del conocimiento del mapa curricular de la materia.

Los conceptos básicos de electromagnetismo permiten explicar muchos de los fenómenos naturales que podemos observar a simple vista, como el color del cielo, la formación del arcoíris y la generación de las tormentas eléctricas, entre otros. El electromagnetismo también está presente en el desarrollo de muchos de los dispositivos tecnológicos que utilizamos en nuestra vida diaria, por lo que es un tema que deben conocer los alumnos de bachillerato para aspirar a poseer una cultura científica básica que les permita comprender el mundo que les rodea y tomar decisiones informadas, como validar las diversas notas que continuamente salen a la luz sin tener ningún fundamento científico y que usan argumentos técnicos del lenguaje de la ciencia para confundir y alarmar a la población.

El presente trabajo consta de dos secciones principales diferenciadas a lo largo del mismo. La primera es un estudio de caso que analiza una secuencia didáctica propuesta para la enseñanza del tema de radiación de cuerpo negro y explora distintas metodologías de enseñanza que pueden ser llevadas a cabo dentro del

salón de clases. En particular, se utiliza la experimentación como herramienta para comprender algunos fenómenos físicos, el aprendizaje basado en problemas y el aprendizaje situado. La secuencia didáctica propuesta se aplicó en un grupo del Colegio de Ciencias y Humanidades, plantel Sur. En este trabajo se presentan los resultados y análisis de aplicar la secuencia didáctica modificada durante dos cursos previos. Cabe señalar que las estrategias exploradas en la secuencia didáctica pueden extenderse a cualquier tema de la física.

La segunda sección incluye una breve investigación en torno a la recopilación de ideas previas que tienen los alumnos de bachillerato respecto a los conceptos que sustentan el tema de radiación de cuerpo negro. Estas ideas previas fueron obtenidas de aplicar a seis grupos del Colegio de Ciencias y Humanidades, plantel Oriente, una serie de clases virtuales enfocadas en este tema. Tener una base de datos de ideas previas de los estudiantes es útil para identificar los errores frecuentes en los conceptos fundamentales para la comprensión del tema radiación de un cuerpo negro.

[1.1 Planteamiento del problema.](#)

En esta sección se exploran las dificultades y retos con los que, como docentes, nos podemos encontrar en el proceso de enseñanza y aprendizaje. En términos generales podemos cuestionarnos: ¿qué factores influyen en el aprendizaje de los adolescentes? Si el conocimiento disciplinar que se enseña en ciencias es el mismo desde hace cien años, ¿un método de enseñanza podría superar la prueba del tiempo?, o bien, ¿las formas de enseñanza deben evolucionar? Y si es así, ¿qué criterios debe tomar un docente para cambiar el método de enseñanza?

En términos específicos debido a la relativa complejidad del tema de radiación de cuerpo negro, se abordan puntos de cuidado que por su abstracción y complejidad deben ser manejados cuidadosamente por el docente para evitar que el alumno adquiera una asimilación errónea de los conceptos fundamentales que constituyen las bases del tema.

I.1.a El escaso aprecio de los estudiantes hacia su educación.

¿Para qué asistes a la escuela? Ésta es una pregunta que podemos hacer a nuestros alumnos y algunas respuestas inmediatas son: *para estudiar, para aprender, para tener un buen empleo en el futuro*. Este tipo de respuestas claramente no son producto de un ejercicio profundo de reflexión, que sería fundamental para una persona que pasa una parte importante de su vida estudiando. Un análisis superficial de estas respuestas podría llevarnos a concluir que los estudiantes son conscientes del papel potencial de la educación para el mejoramiento de su vida y de sus comunidades. Sin embargo, sus conductas y el desempeño escolar evidencian que la mayoría de los alumnos no le dan la importancia y seriedad que amerita su educación; viven un tránsito inercial por los distintos niveles educativos.

Son pocos los estudiantes adolescentes que perciben la asistencia a clases como una oportunidad para transformarse, enriquecer su mente y crear una cultura de autorregulación en disciplina, trabajo y elaboración de tareas, independientemente de las asignaturas, que haga más probable su éxito en los estudios profesionales y en la vida. Promover actividades escolares que favorezcan esta interpretación del papel de la educación contribuiría, sin duda, a una mayor comprensión y apropiación de los objetivos institucionales, así como del logro de las metas educativas.

Por otro lado, los docentes de bachillerato pueden percatarse de las bases conceptuales y procedimentales que tienen los estudiantes. Si manifiestan deficiencias en estos aspectos, el docente tendrá un área de oportunidad para motivar a los alumnos con escenarios de aprendizaje y prácticas de enseñanza interesantes, lo que se aplica tanto en clases presenciales como en un formato virtual de enseñanza.

I.1.b El problema de la enseñanza tradicional.

Educar es una acción ejercida por las generaciones adultas sobre las generaciones que todavía no han alcanzado el grado de madurez necesario para la vida social y tiene la intención de desarrollar en el estudiante estados intelectuales, físicos y morales necesarios para su integración en una sociedad funcional (Durkheim, 1922). Si bien la referencia anterior es bastante lejana a estos tiempos modernos siempre tendrá validez pues, como se verá a continuación, las generaciones más experimentadas son las que determinan el método educativo para las nuevas generaciones.

El problema se presenta cuando un sistema educativo queda obsoleto y, sin embargo, se sigue utilizando como modelo de enseñanza. Durante mucho tiempo se adoptó en la educación la idea que acuñó el refrán *la letra con sangre entra*; por esto se entiende que una disciplina excesiva y el castigo constituyen un método eficaz para educar a un individuo. Por ello, durante decenas de años el alumnado se ha sometido a un sistema en el cual solo es receptor de información, evitando el desarrollo de su autonomía cognitiva y la expresión emocional tanto de profesores como de alumnos. De esto se deriva una pregunta obligada, siendo el proceso de enseñanza-aprendizaje una actividad humana, ¿repercutirá positivamente incluir la autogestión y las emociones propias de la naturaleza humana en este proceso?

Las investigaciones en neurociencia y educación demuestran que el proceso de enseñanza-aprendizaje es mucho más efectivo y rico cuando combinamos con las actividades cognitivas pertinentes, la calidez humana, las emociones, el buen ánimo, la cooperación y elementos sorpresa (Ligioiz, 2015). La curiosidad, interés, alegría y motivación son básicas tanto para enseñar como para aprender algo (Soto, 2012). De esto se puede deducir que el profesor juega un rol importante en el proceso educativo, posteriormente se abordará el tema de motivación en la educación.

Por el carácter formativo del Colegio de Ciencias y Humanidades, sus alumnos cursarán materias que enriquecerán su acervo cultural y desarrollarán sus

habilidades sociales y mentales. Siendo estas materias de carácter obligatorio, no existe una motivación intrínseca en la mayoría de los alumnos de los primeros semestres por entender las matemáticas y los fenómenos naturales, debido a que aproximadamente sólo una cuarta parte de la población elegirá continuar sus estudios en una licenciatura del área de físico-matemáticas y las ingenierías. Así la realidad, esperar que todos los estudiantes tengan una buena actitud para estudiar la asignatura de Física sería poco acertado por parte del profesor.

Ahora bien, es un hecho bien conocido que la tecnología avanza a pasos agigantados. Hoy en día buscamos contar con una mejor computadora, un mejor dispositivo móvil, el mejor servicio de atención médica y tener los más modernos dispositivos. Si se reflexiona sobre cómo la tecnología se ha vuelto indispensable en la vida cotidiana resulta poco aceptable que un profesor no integre estas herramientas a su esquema de trabajo y a la práctica docente.

En una clase convencional, la labor del docente es explicar, mientras que la del estudiante es escuchar y copiar (Pozo y Crespo, 2008). Buscar en estas circunstancias el desarrollo social y cognitivo del estudiante es poco eficiente. Además, en este contexto el aprendizaje suele ser solamente memorístico y, si bien la memoria no es una habilidad que se menosprecie en la educación, la mera repetición de información no garantiza un aprendizaje significativo ni crítico en el estudiante. En este tipo de clases tradicionales, los exámenes, orientados a la obtención de resultados y objetivos medibles para cuantificar el nivel de conocimiento del alumno, son la principal forma de evaluación.

Con el surgimiento de las nuevas tecnologías al alcance de todos como internet, este formato es obsoleto. Hoy en día cualquier estudiante tiene acceso a más información de la que pudo haber soñado cualquier sabio de la historia; sin embargo, el sistema escolar bajo el esquema de enseñanza tradicional fue hecho para un mundo con poco acceso a la información donde el conocimiento era muy apreciado. Sin ir muy lejos, el acceso a internet hace veinte años era muy limitado y las estrategias de enseñanza en el sistema educativo poco han cambiado desde entonces.

Bajo el esquema de enseñanza tradicional existen estereotipos; por ejemplo, se cree que la enseñanza es fácil (Russell 2007), debido a que la mayoría de los profesores no involucran a sus estudiantes en actividades que indiquen la complejidad de ésta ni que promuevan el desarrollo de competencias.

A partir de resultados empíricos se ha demostrado que cuando se tienen experiencias agradables dentro del aula (por ejemplo, experimentos de laboratorio, uso de TIC, videos y trabajo en equipo), se genera un interés situacional en el alumno (Cheung, 2018), que si bien puede no durar mucho tiempo, pues el tema no es de su total interés, es suficiente para lograr un aprendizaje significativo, así como los objetivos planeados por el docente.

I.1.c Puntos de cuidado en la enseñanza de la radiación de cuerpo negro, delimitación de temas tabla Representación de contenido (Co.Re)

Parte del problema del trabajo de tesis es la construcción de la secuencia didáctica y la selección adecuada de los contenidos que es necesario abordar para que un estudiante de bachillerato entienda el tema central, en este caso, radiación de cuerpo negro. Una estrategia para plasmar dicho contenido es mediante la representación de contenido (Co.Re). Las tablas Co.Re (Loughran, 2013) surgen de pensar sobre la naturaleza del conocimiento de temas específicos de ciencia que se quieren enseñar y son de utilidad para extraer la importancia y los contenidos particulares que son relevantes. Esta herramienta se elabora a partir de las “grandes ideas”, refiriéndose a los conceptos más importantes y necesarios para entender el tema central; a partir de cada gran idea se desarrollan las siguientes preguntas:

- ¿Qué se pretende que los estudiantes aprendan de esta idea?

Y, aplicado a un concepto, se puede asociar la pregunta:

- ¿Por qué es importante para los estudiantes saber esto?

Diversos conocimientos de los contenidos curriculares pueden ser “aterrizados” a la vida cotidiana mediante ejemplos de aplicación. Cuando los estudiantes ven estas relaciones, la asimilación conceptual es mayor que cuando un tema es enseñado y su aplicación solo se queda dentro del aula.

- Dificultades o limitaciones para enseñar esta idea.

Las grandes ideas son los subtemas más importantes relacionados con el tema que se quiere enseñar y cuya comprensión es fundamental para entenderlo. Frecuentemente, las grandes ideas coinciden con los subtemas en los cuales suele haber problemas de comprensión conceptual o asimilación errónea de los mismos

- Conocimiento de los estudiantes que influye para enseñar esta idea.

Todos los estudiantes tienen ideas previas, las cuales son esquemas de pensamiento que tienen los alumnos antes de llegar a las aulas, construcciones

personales científicamente incorrectas, de conceptos que se asimilan y se refuerzan por experiencias cotidianas que nunca llegan a ser analizadas con un rigor científico.

Las ideas previas de los estudiantes interfieren notablemente con el aprendizaje esperado. Si no se logra cambiar el esquema erróneo construido por el alumno con las estrategias implementadas por el profesor, el error conceptual se reforzará en el estudiante. Existen distintas técnicas que permiten conocer las ideas previas erróneas de los alumnos como: cuestionarios, entrevistas, tests, observaciones y diálogos. Estas técnicas tienen que realizarse antes de comenzar la lección y deben tener un enfoque abierto en el cual los estudiantes puedan expresar sus opiniones.

Las ideas previas pueden clasificarse en dos tipos, de origen sensorial y de origen cultural. Las ideas previas de origen sensorial surgen por concepciones espontáneas que dan explicación a hechos o sucesos nuevos cercanos a la realidad diaria, por ejemplo, cuando un niño, al viajar en automóvil por la noche, piensa que la luna lo sigue; estas concepciones son asimiladas individualmente. Por su parte, las ideas previas de origen cultural corresponden con las concepciones que son aceptadas en grupos sociales, ya que no solo el sistema educativo es el único transmisor de la cultura, sino que hay que tener en cuenta las creencias sociales, los medios de comunicación, las leyendas y las opiniones, entre otras. Un ejemplo de idea previa de origen cultural, frecuentemente utilizado en la sociedad, es afirmar que *el objeto se cayó de la mesa*, cuando en realidad se necesita aplicar una fuerza al objeto para que cambie su estado de reposo, pues el objeto por sí mismo no se moverá.

Un tercer tipo de ideas previas es de origen escolar: concepciones erróneas que se pueden adquirir en libros de texto o materiales que contienen erratas. Finalmente, se generan ideas previas erróneas por fallas didácticas; es decir, porque la forma en que los docentes representan los conceptos en el proceso de enseñanza-aprendizaje no es adecuada.

En el Anexo VI se presenta una tabla Co.Re que fue elemento central para el diseño de la secuencia didáctica de este trabajo.

I.1.d Objetivos generales.

- Elaborar y aplicar una secuencia didáctica para la enseñanza del tema radiación de cuerpo negro a nivel bachillerato.
- Realizar una investigación educativa en torno a las ideas previas de los alumnos, evaluaciones del examen diagnóstico y examen después de la intervención en línea mediante un análisis cualitativo, identificando los principales problemas de los alumnos en el proceso de aprendizaje de este tema.
- Realizar una investigación teórica sobre la importancia y los objetivos de la educación en la sociedad, ésta será la base con la cual se plantearán algunos propósitos de las actividades presentadas en la secuencia didáctica.

I.1.e Objetivos específicos de habilidades.

- Generar un interés situacional del estudiante en las ciencias, particularmente en la física.
- Que el alumno adquiera un aprendizaje significativo en el tema de radiación de cuerpo negro mediante la secuencia didáctica implementada, reforzando un pensamiento analítico y matemático.
- Propiciar el desarrollo de habilidades cognitivas y sociales de los alumnos durante la implementación de la secuencia didáctica.

I.1.f Objetivos específicos de aprendizaje.

- Comparar las características básicas de una onda electromagnética con las ondas mecánicas.
- Inferir cómo se generan las ondas electromagnéticas.
- Analizar la relación entre termodinámica y electromagnetismo desde el concepto de radiación térmica.
- Identificar la descomposición de la luz blanca.
- Ejemplificar las propiedades de una onda electromagnética como resultado de una investigación sobre la luz visible.
- Explicar los usos de cada tipo de onda electromagnética.
- Extrapolar el concepto de onda electromagnética de la luz visible a todo el espectro electromagnético.
- Concluir que las ondas electromagnéticas transportan energía, característica que comparten con las ondas mecánicas
- Identificar cómo el color de la superficie de un objeto influye en la absorción de energía transportada por las ondas electromagnéticas.
- Construir el concepto de cuerpo negro extrapolando, para cualquier tipo de onda electromagnética, el principio de absorción de energía que transportan las ondas electromagnéticas.
- Analizar el problema histórico conocido como la catástrofe del ultravioleta mediante los modelos de Wien, Raileigh-Jeans y Planck.
- Conocer el surgimiento de la mecánica cuántica con la cuantización de la energía asociada a la radiación.

Estos objetivos están basados en los temas abordados en la secuencia didáctica, los cuales se presentan a continuación.

1. Ondas electromagnéticas.

1.1 Energía radiante y unidades de medición.

1.2 Frecuencia, longitud de onda, velocidad y medio de propagación.

2. Espectro electromagnético.

2.1 Aplicaciones de los distintos tipos de ondas (microondas, luz visible, UV, X, gama).

2.2 Luz visible; ¿Cómo vemos? Absorción y emisión de luz visible, metamateriales e invisibilidad (para microondas).

2.3 Energía Solar, un gran recurso disponible de México.

3. Generación de ondas electromagnéticas.

3.1 Movimiento de cargas en los átomos.

3.2 Tercera ley de la termodinámica, átomos sin movimiento.

3.3 Relación temperatura y emisión de radiación.

4. Cuerpo negro.

4.1 Definición de cuerpo negro.

4.2 Construcción experimental de un cuerpo negro (contexto histórico).

4.3 Ley de Stefan-Boltzman: relación entre lo macroscópico y lo microscópico.

4.4 Ley de desplazamiento de Wien.

4.5 Distribución de radiación de Rayleig-Jeans y la catástrofe del ultravioleta.

5. Inicios de la Mecánica Cuántica.

5.1 La solución de Planck.

5.2 Einstein y el efecto fotoeléctrico.

5.3 Celdas fotovoltaicas.

5.4 Longitud de onda de De Broglie.

5.5 Modelo atómico de Bohr.

II. Marco Teórico

II.1 La importancia de la educación en la sociedad.

Hace más de 2500 años Confucio afirmaba que, desde la infancia, debía existir una preparación en la que se fomentaran los principios morales y éticos necesarios para mantener un comportamiento individual adecuado para las relaciones sociales. Por otro lado, pensadores griegos como Sócrates y Platón creían que el propósito fundamental de la escuela era preparar a los jóvenes para las tareas del estado y la sociedad, mientras que Séneca consideraba que un gran defecto de la sociedad era que los jóvenes aprendían más por la escuela que por la vida.

En este mismo sentido, puede decirse que la meta de la educación no sólo es la adquisición de conocimientos; también se busca la construcción de habilidades para la implementación de estrategias, de forma individual y cooperativa, para la solución de problemas, tanto en situaciones académicas como de la vida cotidiana. Cuando un estudiante se enfrenta a la resolución de problemas matemáticos, al mismo tiempo que adquiere conocimientos sobre la manipulación de ecuaciones y planteamiento de éstas, puede desarrollar diversas habilidades como analizar situaciones y resolverlas de una forma gradual y ordenada, mediante pasos evolutivos que llevan a la resolución del problema. Estas mismas habilidades podrá implementarlas en todo tipo de situaciones cotidianas como: armar un mueble, seguir un manual de instrucciones, seguir indicaciones para llegar a algún lugar o realizar de forma organizada trámites burocráticos, por mencionar algunas.

Una enseñanza tradicional enfocada a la emisión-recepción del conocimiento, en la que el profesor transmite lo que sabe a los estudiantes que actúan como meros receptores, conduce a estos últimos al aburrimiento y la pasividad. Aunque en este tipo de enseñanza es común que se promueva el desarrollo de ciertas competencias y habilidades como la memorización, el desarrollo de la lectura y la escritura, así como de habilidades matemáticas, que son útiles para el desarrollo individual, esto

no es suficiente si se pretende hablar de la formación integral que debe brindar la educación obligatoria.

Así pues, el proceso de enseñanza no debe ser visto como un simple proceso de transmisión y recepción de información en el que el profesor y los estudiantes son entes aislados entre sí. Por el contrario, el docente y los alumnos son participantes activos en un escenario donde el profesor cumple el papel de diseñar y probar distintas estrategias que lleven a que el alumno adquiera las mayores competencias posibles.

En este trabajo de tesis se propone una forma de enseñanza que implementa el uso del aprendizaje situado, el aprendizaje basado en problemas y la experimentación, de tal manera que se motive al alumno en el estudio de la Física y el desarrollo de habilidades y competencias que le conduzcan a una formación integral que le permitan insertarse con todas las herramientas necesarias en la vida social y profesional.

II.2 El aprendizaje situado.

De acuerdo con Baquero (2002), el aprendizaje situado es un proceso multidimensional de apropiación cultural que involucra el pensamiento, la afectividad y la acción, de tal manera que aprender y hacer son acciones que no se pueden realizar por separado, introduciendo entonces el término *aprender haciendo*.

Para este tipo de aprendizaje, el conocimiento que verdaderamente queda marcado en los individuos se genera y es construido a partir de determinadas situaciones sociales, culturales, ambientales, personales y motivacionales.

La escuela es una institución social que, como primer objetivo, debe propiciar el desarrollo de una vida comunitaria y constituirse como el soporte de la educación (Dewey, 1995). Por lo tanto, la escuela tiene que estructurarse en torno al desarrollo de habilidades de cooperación social, la conocida como educación democrática.

Siguiendo el planteamiento de Dewey (Brubacher, 2000), existen otros dos pilares fundamentales de la formación educativa:

- La educación científica, en la que la experimentación juega el papel principal para que exista un aprendizaje y se desarrollen habilidades de análisis de información. En ella, es fundamental hacer notar a los estudiantes la importancia e impacto que tienen las ciencias en la sociedad y su desarrollo.
- La educación pragmática, la cual tiene como eje central las experiencias como creadoras del conocimiento, ya sea al hacer actividades y tareas, experimentar, trabajar colaborativamente, etcétera.

Uno de los casos mejor documentados que muestra la eficiencia de la enseñanza experiencial es el “*Eight-Year Study*” (Watras, 2006), en el cual se comparó la trayectoria de aproximadamente 1500 estudiantes de *high school* de treinta escuelas distintas que basaban su enseñanza en la educación propuesta por Dewey, contra un número de alumnos similar provenientes de escuelas cuyos fundamentos de enseñanza eran tradicionales. Los resultados de este estudio, en el que se realizó un seguimiento a los estudiantes durante ocho años, llegando incluso al nivel licenciatura, mostraron que los alumnos que tenían una formación con las bases académicas que Dewey proponía eran un poco superiores en su desempeño académico, pero significativamente más aventajados en su desarrollo personal, en la toma de iniciativas y en el desarrollo de trabajos colaborativos.

Si lo que se busca es lograr los objetivos del aprendizaje situado, las actividades de instrucción que un profesor desarrolla en clase deben enfocarse en la creación de ambientes de aprendizaje que propicien la participación entre los actores, para que el resultado final sea producto de sus propias interacciones en un proceso reflexivo y de reinventar continuamente con el fin de ajustar sus propósitos. Es por esto por lo que el rol del docente durante la implementación de las actividades es de un guía que conduce los procesos de reflexión y observación de los integrantes de su grupo.

De acuerdo con McKeachie (1999), uno de los resultados deseados en el proceso educativo es que los estudiantes aprendan a enfrentarse a fenómenos de la vida real aplicando las habilidades y el conocimiento desarrollados, al mismo tiempo que puedan manejar situaciones sociales que les permitan contribuir con su comunidad.

Para que un profesor pueda dar un enfoque a sus clases tal que se propicie un aprendizaje situado y experiencial, Díaz Barriga (2003) propone como tema central de su obra las siguientes estrategias de enseñanza:

- Método de proyectos
- Aprendizaje centrado en la solución de problemas reales y en el análisis de casos.
- Practicas situadas en escenarios reales.
- Aprendizaje basado en el servicio a la comunidad
- Trabajo en equipos cooperativos
- Ejercicios, demostraciones y simulaciones situadas.
- Aprendizaje mediado por las tecnologías de la información y la comunicación.

Si bien en la secuencia didáctica que se desarrolla en este trabajo no se implementan todas las estrategias propuestas por Díaz Barriga, éstas pueden ser consideradas para la planeación de cursos completos en los que se disponga del tiempo necesario para ello. Por ejemplo, el método de proyectos, el cual consiste en realizar un conjunto de actividades interrelacionadas y coordinadas para resolver un problema, producir o satisfacer alguna necesidad, puede ser un excelente recurso para fomentar el aprendizaje y el desarrollo de habilidades en los estudiantes, pero también es bastante demandante para ellos.

II.3 El aprendizaje basado en problemas (ABP).

El aprendizaje basado en problemas (ABP) busca desarrollar distintas habilidades:

- El manejo de información.

Ante el problema planteado se debe conseguir información a partir de los datos. Posteriormente, mediante un ejercicio de reflexión, se filtra la información relevante.

- Comprensión de fenómenos interrelacionados.

Con la información obtenida, el alumno desarrolla su capacidad de ver la relación entre los componentes del problema planteado, para intentar generar una solución.

- Experimentación y/o comprobación.

Dependiendo del problema planteado, se pueden poner a prueba las soluciones propuestas y valorar los resultados. Este ejercicio desarrolla la capacidad de autorregulación del aprendizaje del alumno.

- Trabajo cooperativo.

Generar una discusión en equipo fomenta el desarrollo de habilidades sociales, en un espacio de respeto y tolerancia ante las ideas expuestas de los integrantes, así como un análisis grupal de las mismas.

En el ABP, el rol del docente consiste en iniciar con la construcción de una situación problemática, o problema abierto, y modelar tanto el proceso de la solución del problema como las habilidades que se requieran para resolverlo. Durante la implementación de las actividades, el profesor es un guía que evita adelantar la solución, pues esto corta el proceso de discusión y reflexión. El papel de los estudiantes es el de solucionadores de problemas mediante discusiones grupales, las cuales propician un ambiente de trabajo colaborativo.

Entre los problemas planteados en la secuencia didáctica que da lugar a esta tesis, y que además generan la discusión grupal, destacan: ¿es posible la invisibilidad?, ¿por qué tengo más calor si uso ropa negra?, ¿cómo sabemos la temperatura del

¿Sol si nunca el ser humano ha llegado ahí? La solución de estos problemas requiere, además de los puntos anteriores, el manejo de ecuaciones algebraicas. Éste es un punto importante si consideramos que, en las asignaturas de Física, las matemáticas son indispensables.

II.4 La motivación en el aprendizaje.

La motivación es el impulso que tienen los individuos para llevar a cabo acciones que les permitan conseguir una finalidad. Sin motivación no suele haber acciones y, como seres humanos, estamos motivados naturalmente para llevar acciones naturales como lo son buscar alimento o buscar una pareja sexual. También existen motivaciones secundarias que dependen de la cultura, de la sociedad en la que se vive. Por ejemplo, de acuerdo con el modelo de consumismo adoptado por el mundo moderno, una motivación común es querer ganar dinero en abundancia a través de actividades ampliamente publicitadas por los medios de difusión masiva, como ser futbolista, cantante, youtuber, etc., y, por el contrario, es común que a un alumno no le motive el mapa curricular de su escuela.

Cuando se habla de motivación se reconocen dos tipos:

- **Intrínseca:** Ocurre cuando las personas se encuentran motivadas porque piensan que es importante realizar esas actividades o simplemente les resulta placentero. Cuando los alumnos realizan alguna actividad con este tipo de motivación no esperan ninguna recompensa, simplemente realizan las tareas por la satisfacción personal que les produce terminar dicha actividad.
- **Extrínseca:** Ésta se da cuando, por ejemplo, un alumno realiza una tarea que no le es tan agradable con la finalidad de evitar castigos, o por una recompensa futura que sí le será gratificante, como aprobar la educación media superior.

En México, la educación media superior es obligatoria por lo que concluir esta etapa es un objetivo común. Ahora bien, es claro que las diversas condiciones, tanto internas como externas a la escuela, afectan el estado de ánimo del estudiante de forma positiva o negativa, incidiendo en el entusiasmo o la apatía con los que realiza las actividades académicas a lo largo de la educación media superior. Aunque el docente no puede controlar estas variables fuera del aula, sí puede implementar estrategias de motivación y aprendizaje dentro del salón de clase. Estas estrategias pueden basarse en la cultura popular, en noticias de impacto recientes o en el trabajo en equipo.

Por su naturaleza, las estrategias de motivación y aprendizaje facilitan los procesos de aprendizaje a largo plazo (Murayama, 2012). En el caso de la asignatura de Matemáticas se ha mostrado que el desempeño de un estudiante depende más de su motivación que de su cociente intelectual. En otras palabras, un estudiante motivado dedicará mayor empeño en la materia, mientras que un alumno con un cociente intelectual alto y sin motivación no tendrá el interés por dedicar tiempo a la asignatura en cuestión. Es decir, tener estudiantes motivados hará que su esfuerzo sea mayor en las tareas, aumentará su iniciativa por investigar los temas vistos y, según las estrategias de motivación que utilice el profesor, podrán discutir con sus compañeros las actividades, desarrollando con esto sus habilidades sociales.

Ahora bien, como ya se mencionó, las distintas situaciones que viven los estudiantes día a día afectan su motivación en clase, por lo que es poco probable que un docente pueda mantener siempre motivados a todos sus estudiantes. Sin embargo, desde el punto de vista emocional, un profesor puede tomar acciones que fomenten la motivación, por ejemplo: tener una actitud empática propicia que el estudiante mantenga una autoestima elevada, por lo que valorar el esfuerzo del alumno, reflejado en el trabajo continuo, es más importante que el resultado final obtenido en un examen.

Hasta el momento, se ha definido la motivación como el detonador de las acciones que llevan a las personas a conseguir un fin específico deseado y se clasificó en

dos vertientes, la intrínseca y la extrínseca, siendo la primera la más deseable en el salón de clases.

En el caso de las ciencias (Cheung, 2018), se pueden identificar tres factores que influyen en el interés del alumno:

1) El autoconcepto del alumno, es decir, que tan competente cree que es en una materia en particular. Si se considera bueno en la materia tendrá mejor disposición durante las clases de ciencias.

2) El interés individual en la ciencia. Testimonios de profesionistas dedicados a la ciencia, recuperados por Cheung (2018), afirman haber despertado su curiosidad por la ciencia desde temprana edad.

3) Las influencias situacionales mientras se aprende ciencia en la escuela. Si bien existen los factores anteriormente citados por los cuales un estudiante manifiesta un interés intrínseco por la ciencia, otro de gran importancia es el acercamiento a la ciencia por medio de experiencias cotidianas agradables, que incluyen divertirse durante la clase. Este factor será influenciado fuertemente por el profesor mediante su manera de guiar al grupo para obtener los conocimientos que marca el programa de estudios.

En otras palabras, si en el salón de clase se propicia de manera recurrente el interés situacional del estudiante, se generará en éste un interés intrínseco, lo que es uno de los objetivos que el docente de las clases de Física espera alcanzar. En la secuencia didáctica que se desarrolla en esta tesis se han diseñado diversas actividades que tienen como intención incrementar la motivación del grupo generando un ambiente que despierte su curiosidad e interés.

II.5 Experimentos demostrativos en el aula.

La experimentación en las asignaturas de Física juega un papel importante para despertar la motivación en el alumno, lo que, como ya se mencionó, es fundamental para mantener un trabajo y dedicación constante por parte del estudiante.

Según Anderson y Krathwohl (2001), cada persona es un agente activo de su propio aprendizaje, ya que selecciona la información, le da un significado y construye el conocimiento con base en sus experiencias cotidianas. De esta manera, los estudiantes del nivel medio superior que se encuentran en la adolescencia poseen una predisposición para el estudio de las ciencias según las experiencias obtenidas en sus cursos previos, lo que obliga al docente a diseñar e implementar actividades de enseñanza en las que se incluyan aquellos factores que influyen positivamente en la motivación de los alumnos.

Las investigaciones de Hu y Zwickl (2017) sobre el punto de vista de los estudiantes con respecto a la física experimental, indican que el 50% de ellos creen que pueden completar un experimento sin haber entendido las ecuaciones y los conceptos físicos involucrados. Esto claramente refleja la parte negativa de hacer experimentos mecanizados, a la vez que evidencia las ventajas que tendría que el docente realizara en clase experimentos demostrativos en los que se puedan observar directamente los conceptos físicos.

Sin menospreciar los experimentos elaborados en el laboratorio que requieren un desarrollo meticuloso y que fomentan las habilidades científicas en el alumno, en la secuencia didáctica que se construyó se buscaba, con la realización de actividades experimentales, motivar al estudiante y fomentar la comprensión de los conceptos más que el análisis cuantitativo de las mediciones repetitivas que se obtienen en un experimento de “receta de cocina”, los cuales no se descartan, pero se propone realizar en menos cantidad, al menos en laboratorios de nivel bachillerato.

Al igual que cualquier persona que se encuentra mejorando su toma de decisiones continuamente aplicando lo aprendido a través de sus vivencias de la vida cotidiana, el proceso de enseñanza-aprendizaje que se da en el aula se refuerza cuando el alumno puede observar de primera mano los resultados de un experimento que le resulta interesante, lo que da como consecuencia un aprendizaje que perdurará más en la memoria del estudiante y propiciará el desarrollo de las habilidades científicas.

III. Diseño de una secuencia didáctica para la enseñanza de la radiación de cuerpo negro.

Como se ha mencionado, la secuencia didáctica que se construyó propone la incorporación del aprendizaje situado, el aprendizaje basado en problemas y la experimentación, con el objetivo de fomentar la motivación del estudiante en la asignatura de Física, específicamente en el estudio y comprensión del tema de radiación de cuerpo negro y sus antecedentes.

III.1 Las actividades motivadoras de apertura.

A continuación, se detallan y justifican cada una de las actividades motivadoras de apertura que se desarrollaron para cada uno de los tópicos que constituyen el tema de radiación de cuerpo negro.

III.1.a El espectro electromagnético.

Las películas de la franquicia Marvel son un tema de interés común entre los alumnos de bachillerato. A través de ellas se sabe que fue la radiación gamma, que se generó en una explosión accidental de una bomba de prueba («Hulk», 2019), la que transformó al Dr. Robert Bruce Banner en Hulk.

Tomando como premisa que ligar los conocimientos de la cultura popular con los temas de enseñanza es una buena forma de despertar el interés de los alumnos, pues el estudiante pondrá mayor atención en las clases si se considera competente en el tema, para iniciar la explicación del espectro electromagnético se genera una discusión grupal preguntando a los alumnos si se expondrían a una fuente de rayos gamma para obtener la fuerza sobre humana del súper héroe.

Una actividad alternativa que sigue el mismo espíritu es analizar un acontecimiento más reciente en el que se hace un uso totalmente erróneo del concepto de onda electromagnética. El pasado 3 de abril de 2020, en el portal virtual de *sdpnoticias* se publicó una nota titulada: *Ciudadanos ingleses incendiaron una torre 5G, por el*

temor generado a supuestas repercusiones en la salud, a saber, esta tecnología “ayuda a propagar el coronavirus”, en la cual se da el beneficio de la duda a las creencias de los ciudadanos ingleses que cometieron tal acto totalmente infundado. Esta actividad fue implementada en la versión en línea de la secuencia didáctica.

III.1.b Interacción entre ondas electromagnéticas y materia.

Uno de los temas que es fundamental que el estudiante comprenda a partir de la secuencia didáctica es la interacción entre las ondas electromagnéticas y la materia en un nivel básico, a saber, su absorción y reflexión en los objetos que nos rodean. Continuando con la temática de ciencia ficción se puede explorar la posibilidad de recrear la capa de invisibilidad que se nos presenta en las películas de Harry Potter o al menos indagar sobre la posibilidad de la existencia de la misma y bajo qué condiciones esta puede ser real, lo cual se puede hacer como ejercicio de reflexión una vez explicado por qué vemos toda la gama de colores que el ser humano puede distinguir, abordado desde la absorción y reflexión de ondas electromagnéticas correspondientes a la luz visible.

Al inicio de la actividad, tras reflexionar, los alumnos deben tomar una decisión y mantener una postura, ¿es posible o no tener una capa de invisibilidad en la vida real? Bajo esa postura se organizan los alumnos en dos grupos, uno brinda explicaciones sobre el funcionamiento de la capa para que pueda volver invisibles a los objetos; el otro, trata de refutar las ideas de sus compañeros. Finalmente se concluye con apoyo audiovisual que, en teoría, es posible que un material sea invisible si éste no absorbe ni refleja las ondas electromagnéticas. Lograr la invisibilidad teóricamente es posible si las ondas electromagnéticas correspondientes a la luz visible rodean el objeto, lo cual se ha logrado experimentalmente con éxito para microondas (Kanté B., 2009).

III.1.c Absorción de energía y efecto fotoeléctrico.

Usualmente, el centro de las conversaciones son las noticias que ocurren día a día, así como los problemas sociales actuales, pues despiertan un interés común y natural. Entre los problemas globales, el de la contaminación ambiental probablemente sea el más grande que enfrenta la raza humana, siendo un tema que preocupa sobre todo a las nuevas generaciones. Ante esta situación, se consideró pertinente diseñar un experimento en el que los alumnos comprendieran la absorción de la radiación térmica. Así pues, se propuso discutir la construcción de un pequeño calentador solar casero, con opción a ser reproducido a mayor escala. Además, se comentan en clase las ventajas y desventajas de tener uno en casa, en vez de un calentador de gas, enfatizando el cuidado del medio ambiente (el experimento se describirá en detalle más adelante).

Ahora bien, la explicación de la radiación de cuerpo negro contribuyó al entendimiento del efecto fotoeléctrico. Ambos conceptos son fundamentales en la gestación de la mecánica cuántica. Para generar un clima de intriga se pregunta a los alumnos si creen que es útil la mecánica cuántica en la vida cotidiana. Este tipo de preguntas dan fácilmente pie a explicar el principio de funcionamiento de las celdas fotovoltaicas, lo que permite nuevamente abordar el tema del cuidado del medio ambiente y discutir en el salón de clases el potencial de México en este sector y nuestros grandes recursos de energía solar.

III.1.d Contexto histórico y social en torno a la solución de la catástrofe del ultravioleta.

Situar un descubrimiento científico en el periodo de tiempo en que se realizó y en su contexto social tiene la intención hacer ver a la ciencia de una forma más humana. Así pues, a lo largo de la secuencia didáctica se aborda de forma cronológica el tema de radiación de cuerpo negro, partiendo desde cuando Gustav Kirchhoff definió, en 1860, el concepto de cuerpo negro ideal, hasta cuando Planck recibe el Premio Nobel de Física, en 1918, por explicar este fenómeno. A lo largo

de esta línea de tiempo se estudian las aportaciones de todos los científicos que contribuyeron a explicar este problema e, incluso, se mencionan los fracasos que ocurrieron en este proceso, tales como la catástrofe del ultravioleta y los múltiples intentos erróneos en la construcción experimental de un cuerpo negro. De esta manera se pretende concientizar a los alumnos que descubrir y comprender los fenómenos es un proceso difícil en el que se invierte tiempo, esfuerzo y sacrificio, aún para los más grandes científicos.

III.1.e Emisión de luz visible.

El incremento en los últimos años en el uso de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) es quizá una de las causas por las que las generaciones actuales son más “visuales”. Así pues, el uso durante las clases de material multimedia, cuidadosamente seleccionado por el profesor, es útil para atraer la atención de los alumnos.

Para mostrar que la materia a una determinada temperatura emite luz visible, independientemente de su composición química, pueden presentarse a los estudiantes imágenes de metales fundidos, estrellas, una parrilla eléctrica, lava saliendo del cráter de un volcán y un árbol al que le acaba de caer un rayo, haciendo notar que distintos materiales emiten luz visible de una misma frecuencia si tienen la misma temperatura.

III.2 La incorporación de actividades experimentales situadas.

Las actividades experimentales bajo un contexto de aprendizaje situado se emplearon como actividades de desarrollo. Ya que uno de los puntos centrales en la comprensión de la radiación de cuerpo negro es el hecho de que las ondas electromagnéticas transportan energía, se propusieron dos actividades experimentales cuyo fin era que los alumnos pudieran constatar directamente este hecho. Es importante recalcar que el concepto de energía en una onda

electromagnética es un fenómeno difícil de comprender debido al alto grado de abstracción que involucra.

La intención con la que se realizan estas actividades no sólo es motivar al estudiante, además se busca fomentar el desarrollo de un pensamiento crítico y analítico, al mismo tiempo que se promueve el trabajo colaborativo y el desarrollo de un interés intrínseco por la Física. Los experimentos propuestos son sencillos, fácilmente reproducibles y pueden realizarse con materiales de uso cotidiano que se encuentran al alcance de todos los estudiantes.

Se espera que, como afirman Marulanda y Gómez (2006), estas actividades promuevan el desarrollo del estudiante en diferentes aspectos; es decir, que al mismo tiempo que autorregulan su conocimiento y se les motive en el estudio de la Física, desarrollen habilidades y competencias. El trabajo colaborativo, la observación de fenómenos físicos, la explicación de estos a través de discusiones grupales y la aplicación de lo observado en la búsqueda de explicaciones a lo que se puede observar en la vida cotidiana promoverán el desarrollo cognitivo en el estudiante, el cual basándose en la observación y experimentación desarrollará a la par un pensamiento científico.

Cabe mencionar que estas actividades experimentales podrán además ser utilizadas para formar en el alumno una idea intuitiva de lo que es un cuerpo negro, acotando el concepto solamente al intervalo de la luz visible.

III.2.a Experimento 1.

En esta actividad experimental el estudiante deberá exponer a la radiación solar contenedores de agua pintados de diferentes colores y medir la variación de la temperatura como función del tiempo de exposición de cada uno de ellos (Figura 1). Con esto se espera que el estudiante de bachillerato comprenda, de forma intuitiva, el concepto de radiación térmica ampliando su visión de las ondas electromagnéticas, a las que suele ligar solamente efectos eléctricos y magnéticos. Además, podrá calcular la energía mínima absorbida por el agua conociendo su

capacidad calorífica y la temperatura inicial y final de los contenedores. Este experimento puede, además, ser utilizado como actividad detonadora para el estudio en óptica de los conceptos de color, absorción, reflexión y refracción de ondas electromagnéticas.



Figura 1. Contenedores de plástico rellenos de agua y pintados de diferentes colores a los que se les toma la temperatura.

La actividad también se puede complementar calculando la energía mínima absorbida por el agua proveniente de la radiación solar. Para ello, deberán conocer la temperatura inicial, la temperatura final, el volumen de agua utilizado y la capacidad calorífica del agua.

Se propone que los alumnos apliquen la ecuación:

$$Q = mc\Delta T$$

Donde Q es la energía mínima absorbida por el agua, con unidades de Joules. La masa de agua que contiene cada recipiente se midió en gramos y está representada por la letra m . La capacidad calorífica del agua c es de $4.182 \text{ J/g}^\circ\text{C}$ y finalmente ΔT es la diferencia de temperaturas, entre la temperatura inicial y la temperatura final del agua tras haber expuesto a la radiación solar las botellas con agua, la cual se midió en grados Celsius: Se prefirió no emplear el sistema internacional de unidades porque el termómetro infrarrojo con el que se midió utiliza grados centígrados.

Para comparar las temperaturas y la energía absorbida por el agua de los distintos recipientes se completa la Tabla 1, la cual se presenta a continuación.

Tabla 1. Cálculo de la energía de radiación solar mínima absorbida

Color de la botella	Temperatura del agua (°C)		Incremento de temperatura (°C)	Energía mínima absorbida (Joules)
	Inicial	Final		
Azul				
Verde				
Roja				
Amarilla				
Blanca				
Negra				
Papel aluminio				

III.2.b Experimento 2.

El segundo experimento se diseñó con la misma finalidad que el anterior, mostrar que las ondas electromagnéticas transportan energía, pero incluso permite visualizar el hecho de que estas ondas pueden ser reflejadas o absorbidas según el color de la superficie sobre la cual inciden. A diferencia del experimento anterior, el diseño de éste de basa en la practicidad, ya que puede ser implementado dentro del salón de clases en un tiempo máximo de diez minutos. Además, es posible demostrar que una superficie de color negro absorbe una radiación mayor que una superficie de color blanco, lo que se puede apreciar en un incremento de temperatura mayor en la superficie negra, comparado con la temperatura de la superficie blanca.

Cabe mencionar que esta segunda actividad experimental fue diseñada tomando en cuenta el tiempo de exposición de las superficies a la radiación electromagnética. En el primer experimento se deben dejar expuestas las botellas a la radiación solar por un mínimo de dos horas para observar resultados significativos, lo cual lo hace difícil de implementar en una clase presencial en la que no se dispone de tanto

tiempo. En cambio, la actividad que se describe puede realizarse en menos de veinte minutos y dentro del salón de clases.

Para realizar el experimento se cortan franjas de papel aluminio y se pintan de distintos colores, en este caso: azul, verde, rojo, amarillo, blanco y negro. Las franjas se pegan con lápiz adhesivo a una superficie de papel aluminio para evitar que se muevan durante la actividad. Cabe señalar que en este experimento se elige aluminio porque tiene una capacidad calorífica baja a diferencia del agua, esto permite medir diferencias significativas de temperatura en breves lapsos de tiempo.

Esta hoja de papel aluminio se coloca dentro de una caja de plástico transparente con una tapa, a la cual se le realizan dos orificios para poder colocar dos bombillas incandescentes de 100 Watts (Figura 2).



Figura 2. Actividad experimental 2.

Inicialmente se mide la temperatura de cada superficie de papel aluminio con un termómetro infrarrojo para verificar que todas tienen la misma temperatura, es decir, todas las franjas se encuentran en equilibrio termodinámico entre sí.

Antes de someter las superficies de aluminio a la radiación de las bombillas se debe verificar que las franjas de aluminio de colores se encuentran a la misma distancia de ellas, con el fin de que cada una reciba la misma cantidad de radiación electromagnética (luz).

Posteriormente, se tapa la caja y se conectan los focos incandescentes. Transcurridos 15 minutos, el profesor apaga los focos y retira la tapa. Enseguida, con el apoyo de un alumno, se mide la temperatura de cada franja de papel aluminio

con el termómetro infrarrojo, mientras que otro alumno reporta los valores de la temperatura en el pizarrón, como se muestra en la Figura 3.

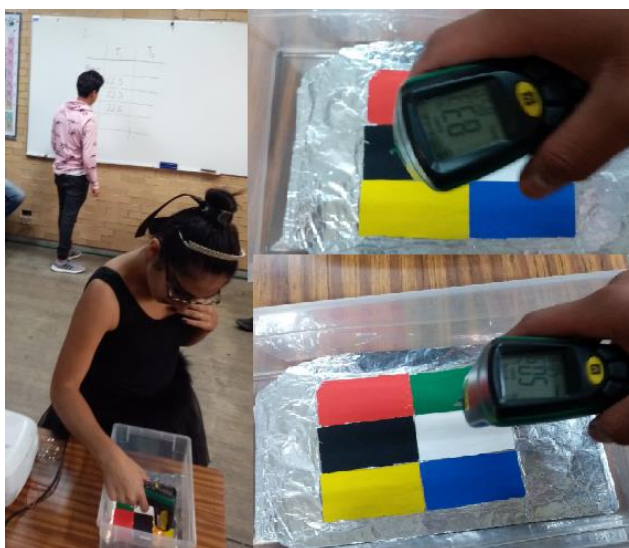


Figura 3. Medición de la temperatura de cada franja

Los resultados obtenidos se reportan en la Tabla 2

Tabla 2. Datos obtenidos del experimento

Color del aluminio	Temperatura Inicial (°C)	Temperatura Final (°C)
Azul	22.5	48.2
Verde	22.6	44.3
Roja	22.2	45.8
Amarilla	22.4	42.1
Blanca	22.5	50.9
Negra	22.1	83.3

Debido a que las franjas de papel aluminio alcanzan rápidamente el equilibrio termodinámico, este último paso debe realizarse rápidamente, procurando medir con alta prioridad la temperatura de la franja blanca y de la franja negra. En el caso mostrado en la tabla se observó una diferencia de más de 30°C entre ambas, mientras que la medición de la temperatura de las demás franjas no es tan fiable por el tiempo que transcurre, ya que como se mencionó el sistema alcanza rápidamente el equilibrio termodinámico.

III.2.c Experimento 3.

Esta tercera actividad demostrativa es conocida en la literatura; consiste en una variante mucho menos sofisticada que el experimento de Hertz pero, para fines prácticos, tiene la misma intención: mostrar que las cargas en movimiento generan ondas electromagnéticas en el espacio circundante. Para este experimento se necesita un elemento piezoeléctrico que genere descargas eléctricas (se explicarán en clase las características de un material piezoeléctrico). Se recomienda utilizar un chispero de encendedor de cocina, ya que es fácil de conseguir, cuatro cuadrados de papel aluminio de aproximadamente 5 por 5 cm, dos tubos delgados aislantes (agitadores de plástico para café, por ejemplo), dos cables caimán-caimán y un multímetro.

Mediante los cables caimán-caimán, el profesor conecta los dos cables del chispero a dos de los cuadrados de papel aluminio sostenidos por el tubo delgado aislante. Por otro lado, un alumno voluntario conecta los otros dos cuadrados de papel aluminio soportados por el otro tubo aislante al multímetro (Figura 4 a la izquierda). Para realizar el experimento, los tubos aislantes que sostienen los cuadrados de papel aluminio deben estar separados por una distancia aproximada de 3 centímetros y el multímetro debe registrar voltios. El profesor acciona el chispero numerosas veces hasta que se observen registros de voltaje al accionar el elemento piezoeléctrico (Figura 4 a la derecha). Cuando se observe el registro de mediciones el experimento habrá concluido de manera satisfactoria, ya que el elemento piezoeléctrico habrá generado cargas en movimiento, las cuales, a su vez, generaron ondas electromagnéticas que se propagaron por el espacio hueco entre las placas paralelas de papel aluminio; estas ondas fueron detectadas por el multímetro registrando una diferencia de potencial medible.

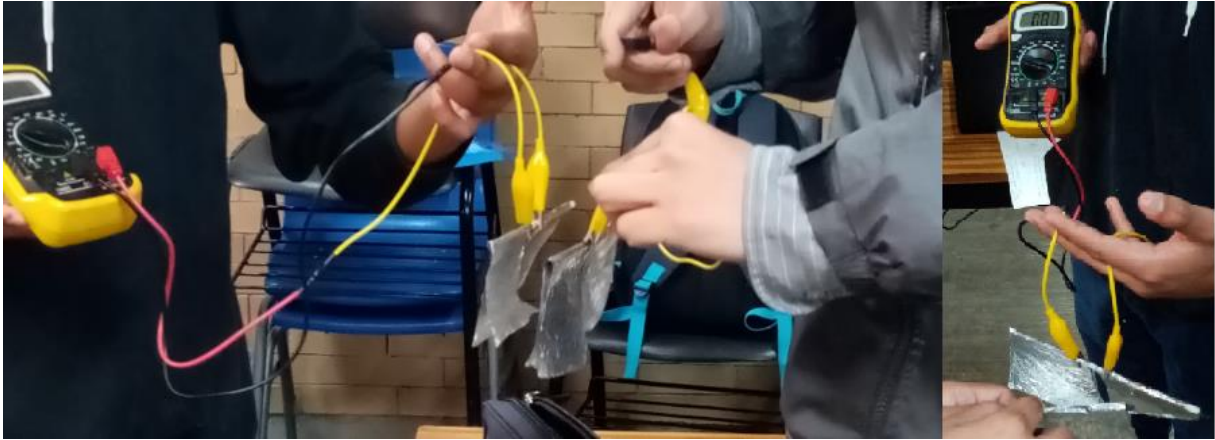


Figura 4. Versión casera del experimento de Hertz

Este experimento también puede realizarse utilizando un foco de una serie navideña en vez del multímetro, pero es más complicado observar el destello del foco. No es recomendable utilizar focos LED porque funcionan con corriente directa.

Otra variante de este experimento es utilizando una máquina electrostática de Wimshurst en lugar del elemento piezoeléctrico (Figura 5 a la izquierda); con esta variante se registra con mayor facilidad el voltaje en el multímetro cuando la chispa salte de una esfera conductora a la otra (Figura 5 a la derecha).



Figura 5. Experimento de Hertz utilizando una máquina de Wimshurst

III.3 La secuencia didáctica propuesta.

A continuación, se presenta la estructura final de la secuencia didáctica propuesta, la cual requiere cinco clases.

III.3.a Primer clase.

Inicio (40 min)

- Presentación del profesor y de los alumnos. Es muy importante dirigirse a los alumnos por sus nombres, pues se genera un ambiente de confianza.
- Se aplica el examen diagnóstico (Pretest), el cual se presenta en el Anexo I.

Se sugiere que los alumnos anoten en la esquina superior del examen el número de la mesa en la que se encuentran, esto para facilitar el recuerdo de los nombres de los alumnos. Al inicio, bastará con recordar el nombre de un alumno por mesa.

- Recolección de ideas previas.

Se divide al grupo en cinco equipos y a cada equipo se les entrega una hoja con dos o más preguntas sobre un fenómeno para ser discutidas por los miembros del equipo. En las indicaciones se expresa que no es necesario que los miembros del equipo conozcan los fenómenos físicos involucrados en las preguntas planteadas, pero deberán formular una hipótesis basada en lo que los miembros del equipo logren conciliar. A cada equipo se le entrega un conjunto distinto de preguntas, que se presentan a continuación:

1. En una noche completamente oscura ¿podremos observar lo que nos rodea?

Es claro que observamos con los ojos, pero ¿por qué podemos observar los objetos?

¿Cómo creen que funciona la visión de rayos X de Superman?

2. ¿Cómo es posible que un calentador de agua solar haga que el agua incremente su temperatura hasta alcanzar aproximadamente 70°C ?

¿Qué características debe tener el calentador solar para que se alcance esta temperatura?

3. Se encuentran acampando y en la noche, al ver el cielo, observan estrellas azules. Discutan en grupo ¿habrá alguna manera de conocer la temperatura de la estrella?

¿Estará a una temperatura mayor o menor que la de nuestro Sol?

¿Por qué piensan eso?

¿Cómo conocemos la temperatura del Sol si no hemos llegado a éste?

4. ¿A qué creen que se deba que cuando un metal se encuentra muy caliente, al punto de fusión, éste brille?

¿Qué otros materiales conocen que brillen cuando se encuentran a una temperatura muy elevada (mencionen ejemplos)?

5. ¿Qué estudia la mecánica cuántica? Escriban lo que conozcan o hayan escuchado sobre el tema

¿Creen que es un tema reciente y no es de utilidad para el día a día, o por el contrario ya hay aplicaciones de esta rama de la física en la vida cotidiana y la utilizamos frecuentemente?

En lo que se realiza esta actividad el profesor debe ir preguntando a cada equipo si son claras las instrucciones y las preguntas. Posteriormente un integrante de cada equipo pasa al frente y explica la respuesta de su equipo. El profesor guía una discusión ante el grupo de cada respuesta, preguntando a los demás equipos que hubieran respondido. Esta actividad tiene la intención de conocer los conceptos que tienen los alumnos en torno a los

temas que se abordarán a lo largo de la secuencia didáctica y corregir posibles errores conceptuales.

Desarrollo (50min)

- Actividad guiada por el profesor mediante una lluvia de ideas.

El profesor divide el pizarrón en tres columnas anotando, como título en ellas, uno de los siguientes conceptos:

1. Luz
2. Radiación electromagnética
3. Onda electromagnética

Los alumnos deben tratar de describir qué es cada concepto, así como sus características. Pueden utilizar términos o frases como: velocidad, medio de propagación, transporta energía, la luz blanca se descompone en colores, etc.

Al finalizar, el profesor rescata las ideas correctas de lo que dijeron los alumnos y concluye que estos tres conceptos, en realidad, son sinónimos.

- Características de una onda electromagnética.

El profesor discute a grandes rasgos qué es una onda y, para visualizarlo, con ayuda de un alumno, hace oscilar una cuerda en el piso. Los alumnos que quieran pueden tomar una fotografía de la cuerda en movimiento. El profesor escribe en el pizarrón qué es una onda:

No es la cuerda, si no la perturbación en la cuerda.

No transporta masa.

El profesor dibuja una onda electromagnética (O.E.M) en el pizarrón y describe las características que tiene y que no fueron mencionadas en la lluvia de ideas. Por ejemplo, una onda electromagnética es una

perturbación en la que se tiene un campo electromagnético oscilante, no transporta masa, a diferencia del sonido no necesita un medio material para propagarse, todas las ondas, ya sean en el microondas o rayos gama, viajan a la velocidad de la luz.

- Resolución de problemas.

Se propone la resolución en clase de los siguientes problemas.

1. ¿Cuánto tiempo tarda la luz en llegar a la Tierra, considerando que la distancia de ésta al Sol es de 149 600 000 000m?

Este problema genera motivación, ya que es posible discutir que la luz que observamos de una estrella que se encuentra a una distancia de 500 años luz fue realmente emitida hace 500 años, lo que despierta el interés por ver cada vez más lejos en el espacio, pues nos remonta a un tiempo pasado.

2. Si vemos caer un rayo y 5 segundos después lo escuchamos, ¿a qué distancia cayó el rayo? La velocidad del sonido en el aire es de 343 m/s.

Este problema permitirá comparar la gran diferencia que existe entre la velocidad de una onda electromagnética y la del sonido cuando se propagan a través de un medio.

3. Calcula el periodo y la frecuencia de una onda de radio cuya longitud de onda $\lambda = 100\text{m}$. Aquí se introducen las ecuaciones:

$$v = f\lambda \quad \text{y} \quad f = 1/T$$

Cierre (10 min)

- Discusión sobre el hecho de que una onda electromagnética puede transmitirse, absorberse y reflejarse.

Para observar que una onda electromagnética se refleja se puede realizar una actividad experimental muy simple en la que se utiliza un dispositivo que todo estudiante lleva consigo, el teléfono celular. Para esto, se toma un

teléfono celular con el radio encendido en altavoz y se cubre con distintos objetos: un suéter, hojas papel y con papel aluminio. Después de observar que cuando se cubre el teléfono con papel aluminio no es posible escuchar el radio, se discute cómo es que las ondas electromagnéticas de radio están siendo reflejadas por el papel aluminio y no llegan al receptor que tiene el teléfono celular.

- Se les entrega la Tarea 1. Tipos de radiación electromagnética, presentada en el Anexo II, la cual deben resolver en casa. Se resuelven dudas sobre ellas.

III.3.b Segunda clase.

Inicio (20 min)

- Recuperar los datos de la tabla que se dejó en la tarea 1.

Algunos estudiantes pasan voluntariamente a llenar la tabla en el pizarrón. Se discute la tabla ante el grupo y se corrigen posibles errores que puedan surgir. Se comentan las aplicaciones de cada tipo de O.E.M que resulten interesantes.

- Una vez que se ha llenado la tabla, se recuperan las siguientes conclusiones de la sesión anterior:
 - o Una O.E.M es una perturbación del campo electromagnético.
 - o No necesitan un medio material para propagarse.
 - o Su velocidad es de 300 000 000 m/s, independientemente de la frecuencia de la O.E.M.
 - o Luz, radiación electromagnética y onda electromagnética pueden ser sinónimos.

- Se inicia la siguiente actividad motivadora. El profesor pregunta a los estudiantes: Ahora que ya estudiamos el espectro electromagnético:

¿Alguien sabe cómo obtuvo Hulk sus poderes, según Stan Lee?

¿Alguno de ustedes se sometería a radiación gamma para obtener esos poderes?

Desarrollo (50 min)

Después de ver los distintos tipos de ondas electromagnéticas es conveniente trabajar con mayor profundidad el tipo de onda electromagnética con la que los estudiantes se encuentran más familiarizados, la luz visible. Se pretende objetivar (“aterrizar”) con mayor claridad los conceptos de absorción y reflexión de la luz estudiando cómo es que vemos los objetos de un color en específico. Para despertar el interés de los alumnos se introduce el análisis de la interrogante ¿en qué condiciones se puede fabricar una capa de invisibilidad?

Para realizar esta tarea, se solicitó a los alumnos seguir los pasos de la hoja de actividades “*Espectro electromagnético, la luz visible*” (Anexo III). A continuación, se describe como se procede en cada parte.

Preguntas: ¿Será posible construir una capa de invisibilidad como la de Harry Potter? ¿Por qué?

Después de un tiempo para que discutan las preguntas, en plenaria se revisan las hipótesis generadas sobre qué se tendría que hacer para fabricar una capa de invisibilidad.

Para hacer la Actividad 1 y contestar las preguntas asociadas, un voluntario manipula el simulador de PhEt color y visión disponible en la siguiente dirección electrónica:

<https://phet.colorado.edu/es/simulation/color-vision>

Actividad 2. Se pide a los alumnos que respondan la tabla, después de lo cual manipulan los filtros y el láser verde, estudiando la absorción de luz con una longitud de onda específica.

Actividad 3. El profesor reparte las rejillas de difracción, que son fragmentos de DVD's cortados. Se solicita a los alumnos que coloquen la rejilla de difracción sobrepuesta en la cámara de su teléfono móvil y tomen fotografías. La rejilla de difracción separa la luz blanca que proviene de los focos del salón, lo que permite observar los colores que componen dicha luz.

Actividad 4. El desarrollo de la clase concluye respondiendo a la pregunta planteada ¿en qué condiciones es posible tener una capa de invisibilidad? Para ello se proyectan los siguientes videos:

- ¿Qué es la luz?, ¿por qué vemos colores?

Recuperado de: https://youtu.be/5E3kl_7_cT0

- Tercer clasificado en Famelab España - Miguel Abril

Recuperado de: <https://youtu.be/l4jzmYftLqU>

- Uso de metamateriales para crear un campo magnético

Recuperado de: <https://youtu.be/leQ7D15ombI>

Cierre (20 min)

El profesor recalca lo visto hasta ahora, que las O.E.M se:

- reflejan → Experimento del radio y papel aluminio, con la luz visible por ejemplo vemos el pasto verde porque se refleja el color verde y las otras ondas electromagnéticas de luz visible son absorbidas.
- transmiten → Se observa con los filtros, el verde se transmite si el filtro está compuesto por el color verde.

- absorben → Se observa con los filtros, un filtro rojo absorbe toda la radiación del láser verde y no deja pasar. Actividad 5. Se resuelven los problemas de la hoja de actividades.

III.3.c Tercer clase.

Inicio (30 min)

Experimento de Hertz. Se dibuja en el pizarrón el diagrama del experimento de Hertz y el profesor explica los fenómenos físicos involucrados. Se realiza el Experimento 3 explicado anteriormente (página 29), se destaca que al accionar el chispero se observa un registro de voltaje en el multímetro. El registro de voltaje se debe a que las cargas en movimiento han generado ondas electromagnéticas en el espacio circundante, las cuales son interceptadas por las antenas de papel aluminio, las que, a su vez, están conectadas a las terminales del voltímetro registrando la diferencia de potencial. Se concluye que las cargas en movimiento generan ondas electromagnéticas.

Se proporciona a los alumnos la definición de radiación térmica con el objetivo de ligar esta definición al concepto de onda electromagnética. Se ponen dos ejemplos similares. El de una manta térmica de supervivencia que cubre a una persona y la protege de las bajas temperaturas del ambiente y tacos al pastor para llevar, un hecho de la vida cotidiana, pues este platillo mexicano muy popular, en cualquier taquería suele ser envuelto en papel aluminio para evitar que se enfríe rápidamente. Al igual que las ondas de radio, como se observó en el experimento del teléfono móvil envuelto en papel aluminio, ambos materiales, la manta térmica y el papel aluminio, son capaces de reflejar la radiación térmica.

Analicemos el caso de los tacos al pastor para llevar. La radiación térmica que emiten será reflejada por el papel aluminio, evitando así una pérdida de temperatura debido a la diferencia de temperaturas entre el ambiente y los tacos. Citando a mi profesor de termodinámica: *Es por esto que un buen taquero sabe que la parte brillante del papel aluminio debe ir cubriendo los tacos.*

Ahora se realiza el Experimento 2 (ver página 26 y siguientes). Una vez se han obtenido resultados de las temperaturas en cada franja de papel aluminio, se discute en plenaria que las O.E.M transportan energía y ésta es absorbida o reflejada según el color de la superficie, por lo que la absorción de energía se apreciará en el incremento de temperatura de cada superficie, siendo la franja negra la que presenta una temperatura mayor tras la exposición a la radiación de la bombilla, pues una superficie de este color absorbe toda la luz visible, en tanto que la franja de papel aluminio pintada de blanco será la que presenta una menor temperatura, pues ésta reflejará toda la luz visible.

Desarrollo (50 min)

- Por mesa se elabora un mapa mental de las O.E.M, las cuales pueden ser absorbidas, emitidas, reflejadas o transmitidas.
- El profesor expone el problema de la radiación de cuerpo negro haciendo énfasis en la parte histórica, con la intención de que los alumnos humanicen el trabajo científico, ya que podrán apreciar que su solución llevó mucho trabajo y años de investigación por los mejores científicos de la época.
- Se realiza una actividad con el simulador de PhET “*Radiación del cuerpo negro*” consultada en la siguiente dirección electrónica:

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

La actividad consiste en proyectar el simulador, teniendo activas las casillas de *Graficar Valores, Etiquetas e Intensidad*: El profesor varía la temperatura del cuerpo negro, discutiendo en plenaria la intensidad de las ondas electromagnéticas emitidas por el cuerpo negro en cada región del espectro.

- Se explican las unidades de la gráfica interactiva del simulador, a saber, en el eje de las abscisas (X) se presenta la longitud de onda en cada parte del espectro electromagnético en micrómetros, mientras que en el eje de las

ordenadas (λ) se representa la irradiancia en megawatts sobre metro cuadrado por micrómetro, de tal manera que al calcular la energía total emitida por el cuerpo negro a una determinada temperatura con la ecuación de Stefan-Boltzman, la energía se presente en megawatts sobre metro cuadrado.

Al utilizar el simulador es importante aclarar esto a los estudiantes, ya que posteriormente se resolverán problemas para calcular la energía en Joules, dando como datos la temperatura, la superficie y el tiempo que emite radiación el cuerpo negro.

Se discute en plenaria por qué los resultados del experimento solo fueron predecibles para el color negro y blanco, haciendo énfasis en el espectro de emisión de una bombilla de filamento de tungsteno que, por sus características, emite muy poca radiación correspondiente a luz visible, en su mayoría emite radiación térmica y mucha más luz roja que violeta.

Lo anterior aclara el hecho de que la franja de color rojo eleva muy poco su temperatura, ya que estará reflejando la luz roja que se emite en mayor cantidad. Algo similar sucede con los colores que están conformados por el color rojo, como el amarillo. Lo anterior lleva a destacar que una fuente de luz ideal para este experimento debe emitir iguales cantidades en radiación de luz de cada color.

Cierre (40 min)

- Se reparte a cada alumno una hoja (Anexo IV), con el resumen de la presentación, que incluye las ecuaciones de las Leyes de Wien y de Stefan-Boltzman, así como los hechos históricos más importantes en torno a la solución de este problema.
- Se resuelven los problemas que vienen en la hoja del resumen y se explica la tarea sobre el reporte de los experimentos.

III.3.d Cuarta clase.

Inicio (30 min)

- Repaso de la clase anterior:
 - o Se rescata en plenaria la definición de cuerpo negro mediante las ideas que los alumnos brinden en plenaria.
 - o Se dibuja la gráfica de la distribución de la radiación de un cuerpo negro a una temperatura de 5800 K (temperatura del Sol) y se asocia a la gráfica el significado de las ecuaciones obtenidas por Stefan-Boltzman y Wien.
 - o El profesor recuerda las aproximaciones de Rayleigh–Jeans y de Wien que no se podían ajustar a los datos experimentales obtenidos.
 - o Se corrigen las posibles ideas erróneas que los alumnos puedan tener en este recordatorio en plenaria.

Desarrollo (50 min)

- El profesor escribe la ecuación que modela la distribución de radiación de un cuerpo negro (ley de radiación de Planck) y discute como Planck obtuvo sus resultados, así como las implicaciones de que $E = hv$
- Explicación del efecto fotoeléctrico y la contradicción de la mecánica clásica.
- Modelo atómico de Bohr y sus postulados.
- Se menciona de manera breve el nacimiento de la mecánica cuántica y las posteriores contribuciones a la misma por parte de Louis De Broglie, Dirac, Schrödinger, Born y Pauli.
- A manera de cierre, el profesor lee un texto del libro *“El bosón de Higgs no te va a hacer la cama”* en el que se mencionan las limitantes del cerebro humano para entender los fenómenos naturales a escalas atómicas. Citando la referencia mencionada:

“¡Qué horror algo que puede ser dos cosas a la vez! Y la teoría decía, además, que se comportará como una onda o como una partícula en función de cómo la observes, del tipo de medida que hagas, de la forma del experimento. ¡Desastroso! Aunque... hay una forma de entenderlo: igual el electrón no es ni una onda ni una partícula. Nuestro cerebro es limitado para entender ciertas cosas. De hecho somos animales y nuestro cerebro es un órgano evolutivo, adaptado a la supervivencia. Nuestro sentido común muchas veces no es común ni es nada y nuestros sentidos nos engañan continuamente. Nuestro cerebro responde bien y rápido a estímulos que nos conviene percibir por cuestiones evolutivas: cosas que se mueven a velocidades humanas, distancias humanas, pesos humanos... Sin embargo cuando nos salimos de estos entornos el cerebro pierde su capacidad de predicción y comprensión y se vuelve extremadamente limitado. Pensemos en lo difícil que es concebir, por ejemplo, un mundo de cuatro dimensiones espaciales: no podemos. O imaginar un color que no sea el del arcoíris... ¡No podemos! La capacidad creativa del cerebro es reducida y se limita a nuestra experiencia animal. Los electrones son objetos cuyo tamaño no corresponde a nuestra experiencia diaria. Entender un electrón no compromete la supervivencia de la especie... En el mundo prehistórico cazar un mamut no dependía de entender las propiedades cuánticas del electrón. Nuestro cerebro simplemente no está preparado para entender su naturaleza profunda. De hecho lo que hacemos nosotros es decir que el electrón es una onda, como una ola. Rápidamente queremos que sea como algo que nos es común y cotidiano: la ola. También podemos decir que el electrón es como una partícula, como una canica. De nuevo queremos hacer una analogía con algo cercano. Pero nada evita que el electrón sea algo que no se parece a nada de nuestro entorno. El electrón es como un color que no está en el arcoíris y nuestro cerebro no es capaz de asimilarlo. No encontramos una representación equivalente para compararlo y esto nos lleva a una contradicción. Seguramente el electrón no sea ni una onda ni una partícula será un... <harshelgromenawer>. Vamos algo sin definición y sin equivalente

a nuestra experiencia cotidiana. A veces se parecerá a una cosa que vemos en el mar y otras a esas bolitas con las que juegan los niños... Pero lo cierto es que nada en el Universo le obliga a ser ninguna de las dos cosas. ¿Por qué los componentes de nuestro universo tendrían que parecerse a los objetos humanos? ¿Qué obligaría a que así fuera?

- Resolución de problemas: Una vez explicado que la energía de una onda electromagnética está cuantizada y se propaga en partículas portadoras de energía, llamadas fotones, se resuelve de manera grupal el siguiente problema:
 - o Un foco de filamento de Tungsteno cilíndrico de radio 0.1 cm y longitud 0.5 m se encuentra a 3000 Kelvin.
 - a) Calcula la energía que emite su superficie en un segundo
 - b) Calcula la longitud de onda de los fotones que emite en su mayoría
 - c) Si el 70% de energía que emite el foco es por medio de fotones con longitud de onda máxima, calcula el número de fotones que emite el foco con esa longitud de onda en 1 segundo.

Cierre (40 min)

- Para abordar el tema de aplicaciones de la mecánica cuántica se emplea la estrategia de Rompecabezas II (Eggen, 2001). En esta estrategia el profesor reparte a cada equipo un texto que deberán analizar y exponer, de manera breve, su comprensión del mismo. De esta manera se tienen cinco equipos “expertos” cada uno en un tema, el cual comparten con el grupo.

Implementar esta actividad tiene dos finalidades, la primera es desarrollar sus habilidades para comunicar información ante el grupo; y la segunda, que conozcan de manera muy superficial algunas aplicaciones en las que se pueden observar fenómenos cuánticos, pues muchos estudiantes reportaron

ideas previas en las que únicamente asociaron la mecánica cuántica con ciencia ficción o tecnología inalcanzable para estos días.

- Los textos son de divulgación de los siguientes temas:
 - Espectro de emisión y Luminaria fluorescente.
 - Promisorio Futuro de la Energía Solar Fotovoltaica (Morales A., 2016). Se aborda el problema energético y el futuro de la energía solar. Este texto permite comentar el enorme potencial en recursos solares que tiene México.
 - Mundos como la Tierra (Segura A., 2005). Este texto nos muestra las posibilidades de la espectroscopia de absorción para identificar los elementos que componen las atmósferas de otros planetas.

- Fluorescencia. Recuperado de: http://wwwuser.cnb.csic.es/~fotonica/Photonic_en/Review/fluores.htm

Explica la absorción y emisión de fotones de una determinada longitud de onda en ciertos elementos fluorescentes. Se recomienda que esta lectura sea complementada por referencias propuestas por el equipo.

- Fotosíntesis y Mecánica Cuántica (2010). Recuperado de: <https://www.quo.es/naturaleza/a11793/fotosintesis-y-mecanica-cuantica/>

Este artículo trata sobre la absorción de fotones por las plantas. Puede completarse con referencias propuestas por los estudiantes.

- Computación cuántica (Rubo Y., Tagüeña J., 2004) Este artículo plantea la posibilidad de adoptar una de las propiedades de la mecánica cuántica, la dualidad, en la

computación para, de esta forma, pasar de bits 0 ó 1 a algo más eficiente que repercute enormemente en la velocidad de procesamiento.

III.3.e Quinta clase.

Introducción (10 min)

El profesor pregunta por las posibles dudas que surgieron al realizar las lecturas e investigar bibliografía complementaria. Durante este tiempo los alumnos se preparan para pasar a exponer sus temas.

Desarrollo (50 min)

Aplicación del examen “Postest” el cual se reporta en el Anexo V. Se aplica también una encuesta que ayudará al profesor a mejorar sus habilidades y estrategias de enseñanza mediante la crítica constructiva de los estudiantes, dicha encuesta se presenta y analiza posteriormente en la sección correspondiente de este trabajo.

Cierre (5 minutos)

El profesor agradece la atención prestada durante la implementación de la secuencia didáctica.

III.4 Modificación de la secuencia didáctica para ser implementada a distancia.

Una educación a distancia tiene la finalidad de que el estudiante autorregule su conocimiento mediante actividades guiadas, las cuales deben tener una retroalimentación oportuna para reforzar este proceso y, si bien el conocimiento que se pretende enseñar es el mismo, el método es otro y las habilidades por desarrollar también. La educación en un aula virtual requiere por parte del estudiante una mayor responsabilidad, motivación y autodisciplina o estrategias de administración de recursos, así como de tiempo y espacio para lograr los objetivos propuestos.

La secuencia didáctica modificada consiste en 7 actividades que los alumnos deberán realizar como trabajo en casa. Estas actividades están diseñadas para ser realizadas a distancia, se publican en la plataforma Classroom y semanalmente se elaboran dos de ellas. Las hojas de actividades se elaboraron con la intención de presentar un contexto que puede ser llamativo para los alumnos, una introducción teórica del tema que se quiere abordar y una actividad que los alumnos realizarán y entregarán de forma virtual como producto para evaluar dicha actividad.

En esta sección se describen brevemente las actividades que componen la secuencia didáctica, las que pueden consultarse en los enlaces que se dejan para cada actividad.

III.4.a Actividad 1.

En la primera actividad se introduce al alumno al concepto de onda electromagnética (O.E.M) y se explora una de sus características, su velocidad en el vacío. La actividad consiste en realizar una investigación guiada a través de videos seleccionados previamente sobre el espectro electromagnético. Los alumnos completarán una tabla que deberán entregar como producto. La actividad se encuentra disponible en:

<https://drive.google.com/open?id=1g43h3PxxOabSdYzMwswNqBvLCgcwji5t>

III.4.b Actividad 2.

La segunda actividad aborda el tema de dos propiedades importantes de las O.E.M: la absorción y la reflexión a partir de ejemplos intuitivos sobre la luz visible. La actividad consiste en responder preguntas del tema expuesto, realizar una actividad experimental casera en la que se pueda verificar que las ondas electromagnéticas se reflejan y en ver dos videos que explican la posibilidad de la invisibilidad. La actividad se encuentra disponible en:

https://drive.google.com/open?id=143_5TNXNB0TqMFPL599GuEM0z2ddebA6

III.4.c Actividad 3.

La tercera actividad tiene como objetivo enseñar al estudiante, mediante una actividad experimental que realizarán desde sus casas, que las ondas electromagnéticas de la radiación solar transportan energía y ésta puede ser medida y aprovechada para distintos fines. La actividad se encuentra disponible en:

<https://drive.google.com/open?id=1OEg6nlcAtF6yOb4PnWpoXHggWixPrLZ4>

III.4.d Actividad 4.

A partir de esta actividad se pretende entrar un poco más en materia explicando cómo se genera una onda electromagnética y el concepto de radiación térmica, se dan ejemplos, explicados en secciones anteriores, que se pueden ver en la vida cotidiana sobre la radiación térmica. Con el producto de esta actividad se pretende que el alumno organice toda la información que ha visto en ésta y las actividades anteriores y la presente en un mapa conceptual. La actividad se encuentra disponible en:

<https://drive.google.com/open?id=1KYZISFf3YFw81z3oBlmYCFiVjjGVGYHW>

III.4.e Actividad 5.

En esta actividad se abordan los temas de radiación de cuerpo negro, ley de Wien y ley de Stefan-Boltzman, los ejemplos utilizados que se sitúan en la vida cotidiana consisten en los objetos que emiten luz por estar a una temperatura elevada. Dada la dificultad de entender los conceptos, el único producto que se pide es la solución de un problema que requiere la aplicación de la ley de Wien y la ley de Stefan-Boltzman. La lectura se encuentra disponible en:

<https://drive.google.com/open?id=1p4mGSvLZAnEtPo3DiHI20-OTmSaINbo>

III.4.f Actividad 6.

La lectura de esta actividad relata las aportaciones de los científicos para descifrar y entender la física implicada en la distribución de radiación de un cuerpo negro, contando las limitaciones tanto experimentales como de la física existente hasta ese entonces. Con esto se pretende humanizar la física y mostrar el gran esfuerzo hecho por la comunidad científica para resolver este problema. Los productos solicitados son dos, el primero consiste en utilizar el simulador de PhET de radiación de cuerpo negro para comparar los datos del simulador con las Leyes de Wien y Stefan-Boltzman y el segundo en hacer una reflexión sobre la importancia de la perseverancia que hubo en la comunidad científica para resolver este problema. La lectura se encuentra disponible en:

https://drive.google.com/open?id=18V5T3WeBa0xUXGr6h_g8pyfKLZJX6-HA

Se explica la solución del problema de la distribución de radiación de cuerpo negro y sus implicaciones con surgimiento de la física moderna. La actividad se encuentra disponible en:

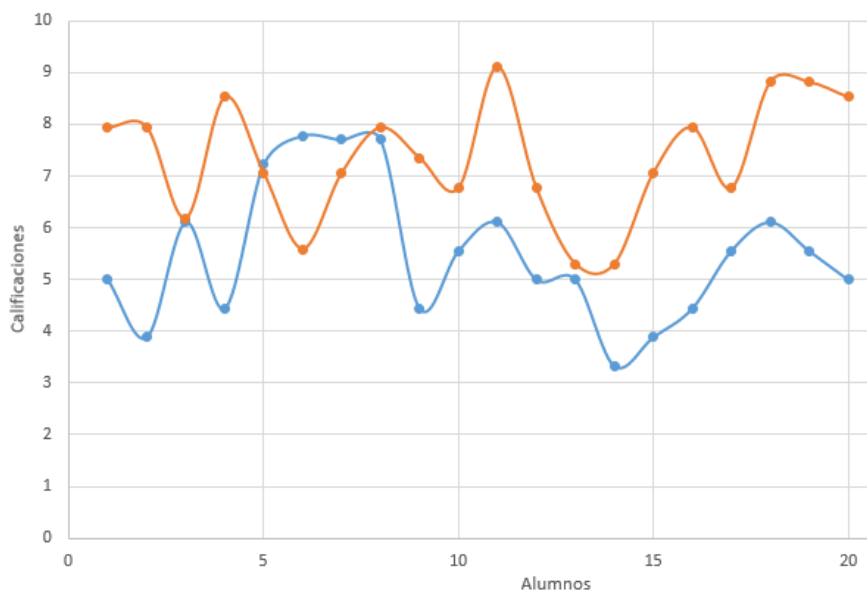
<https://drive.google.com/open?id=1DoeXSAA3t8VIWYM-CDs5k9YI7uoH4ori>

IV. Resultados

IV.1 Implementación de la secuencia didáctica y resultados obtenidos.

La secuencia didáctica que se diseñó fue implementada de forma presencial durante el semestre 2020-1, en el grupo 509, en la asignatura de Física III correspondiente al quinto semestre del plan de estudios de la Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH), Plantel Sur, de la Universidad Nacional Autónoma de México, los días 23, 25 y 30 de octubre, así como el 6 y 8 de noviembre del 2019. El grupo estaba conformado por 22 alumnos, 15 hombres y 7 mujeres, con edades entre los 16 y 17 años.

El primer análisis de los datos obtenidos consistió en comparar las calificaciones obtenidas en el pretest (Anexo I) y postest (Anexo V) por cada uno de los alumnos, lo que se presenta en la Gráfica 1.



Gráfica 1. Comparación de las calificaciones del pretest (en azul) y postest (naranja) del grupo 509 de Física III, CCH-Sur, 2020-1.

En el eje de las abscisas se tiene a los 20 alumnos que presentaron ambas pruebas de evaluación, cada uno identificado o nombrado por un número, y en el eje de las ordenadas, la calificación obtenida por cada alumno en ambas pruebas. La serie de puntos azules representa la calificación obtenida por alumno en el pretest, cuyo promedio general es de 5.4, mientras que la serie de puntos color naranja corresponde a la calificación del postest, con un promedio general de 7.3.

Si bien se observa una mejora a nivel grupal e individual en la calificación del postest, los resultados de la implementación de esta secuencia didáctica son un claro ejemplo de las limitaciones que tiene la estadística para analizar la información en investigaciones educativas. En este caso, una interpretación superficial puede llevar a considerar que, en un inicio, los estudiantes no conocían el tema y estaban poco familiarizados con los conceptos, pero que, una vez que se aplicó la secuencia didáctica, hubo aprendizaje en el nivel de conocimiento. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que el postest fue diseñado para exigir al examinado un mayor dominio de los conocimientos y a escalas cognitivas superiores, de comprensión y aplicación.

Para obtener información más precisa del dominio y profundidad del aprendizaje logrado, se realizó un análisis cualitativo de las respuestas de los estudiantes a un reactivo de interrelación de información, tres de comprensión y uno de aplicación exclusivos del postest.

Los datos anteriores nos permiten concluir que la mayoría de los estudiantes logró utilizar los conceptos adecuados para describir los fenómenos físicos.

La principal dificultad reflejada en el desempeño de los estudiantes en el postest se aprecia en la resolución del problema numérico, en el que se observaron errores u omisiones de todo tipo: despejes realizados de manera incorrecta, confusión con las unidades físicas, errores aritméticos, sustitución de variables en las fórmulas de manera aleatoria y problemas de abstracción de información, lo que llevó a resultados incorrectos.

IV.2 Análisis del cuestionario de opinión.

Al terminar la intervención se aplicó a los estudiantes, de manera anónima, una escala tipo Likert y una pregunta abierta para conocer su opinión acerca de las actividades implementadas para abordar el tema de radiación de cuerpo negro. En la Figura 6 se presenta el instrumento empleado y en la Tabla 3 se organizan los resultados de la opinión. De los alumnos.

Encuesta sobre la enseñanza de Radiación de Cuerpo Negro
Esta encuesta es ANÓNIMA NO ESCRIBAS TU NOMBRE

1. Encierra el número que consideres oportuno para cada pregunta, donde:

1 MUY EN DESACUERDO
2 ALGO EN DESACUERDO
3 NI DE A CUERDO NI EN DESACUERDO
4 ALGO DE ACUERDO
5 MUY DE ACUERDO

El profesor domina el tema que impartió:

1 2 3 4 5

El profesor resolvió las dudas de los alumnos:

1 2 3 4 5

El profesor mantuvo la atención de los alumnos durante la clase:

1 2 3 4 5

Consideras que hubo suficientes actividades o experimentos durante las clases y que además estas fueron interesantes:

1 2 3 4 5

Consideras que los ejercicios realizados durante las clases reforzaron el conocimiento

1 2 3 4 5

Consideras que aprendiste el tema de radiación de cuerpo negro:

1 2 3 4 5

2. En la parte de atrás de esta hoja escribe alguna sugerencia o comentario constructivo para el profesor, de la clase, las actividades o experimentos realizados en clase, estrategias de enseñanza utilizadas, etc.

Figura 6. Instrumento para recabar la opinión de los estudiantes sobre las actividades de la secuencia didáctica.

Tabla 3. Resultados de la opinión de los alumnos sobre las actividades de la secuencia didáctica.

Reactivo	Muy de acuerdo (5)	Algo de acuerdo (4)
El profesor domina el tema que impartió.	20	
El profesor resolvió las dudas de los alumnos.	18	2
El profesor mantuvo la atención de los alumnos durante la clase.	16	4
Consideras que hubo suficientes actividades o experimentos durante las clases y que además fueron interesantes.	19	1
Consideras que los ejercicios realizados durante las clases reforzaron el conocimiento.	17	3
Consideras que aprendiste el tema de radiación de cuerpo negro.	13	7

De estos resultados se pueden inferir algunas suposiciones de la apreciación que tuvieron los alumnos de la secuencia didáctica, así como una noción de la autoevaluación en cuanto a los conocimientos adquiridos por cada estudiante.

Los primeros dos reactivos hacen referencia al ambiente de trabajo que el profesor debe intentar propiciar en clase para desarrollar un trabajo adecuado. El tercer, cuarto y quinto reactivo intentan evaluar la organización del profesor y la percepción de los estudiantes en cuanto a las actividades experimentales y al trabajo en el aula propuesto en esta secuencia didáctica. En los resultados es posible apreciar que la mayoría de los estudiantes consideró que las actividades experimentales y el trabajo en clase fueron adecuados para abordar el tema central de la secuencia didáctica.

El sexto y último reactivo es de los más importantes, pues el estudiante se autoevalúa en cuanto a sus conocimientos adquiridos en el tema de radiación de cuerpo negro. En éste, el 100% de los alumnos considera que aprendió el tema de la secuencia didáctica, el 65% sin lugar a duda y el 35% con algunas reservas.

A partir de datos anecdóticos derivados de la observación y plática con los alumnos puede decirse que la deficiencia que reportan tiene su origen en la dificultad que encuentran al resolver los problemas aplicados en el examen, porque no tienen habilidades para despejar ecuaciones y para manejar unidades físicas.

A continuación, se presentan algunas sugerencias y comentarios de los estudiantes.

“Las actividades realizadas en clase fueron muy prácticas, pues ayudaron a comprender mejor los temas”

“Considero que el profesor enseña muy bien ya que es atento y le interesa que los alumnos entiendan, los trabajos y experimentos son divertidos”

“Las actividades que realizamos en clase fueron muy buenas, son muy ilustrativas y ayudan a que la clase sea más dinámica”

“Me gustó que para comprender y reforzar los temas impartidos en clase se realizaran experimentos o actividades didácticas”

“La única recomendación es que no de las respuestas tan rápido si no que espere a que los alumnos las resuelvan y después de compruebe si están bien”

“Muy buenas las clases, didácticas, interesantes. Estuvieron geniales las clases con los experimentos”

IV.3 Resultados de la implementación de la secuencia didáctica adaptada a la enseñanza a distancia.

Debido a la pandemia causada por el virus COVID-19 y a la imposibilidad de impartir las clases de forma presencial, fue necesario adaptar la secuencia didáctica a la modalidad virtual. La secuencia didáctica adaptada se llevó a cabo de forma virtual, mediante la plataforma *Classroom*, con seis grupos de Física IV del CCH, plantel Oriente, en el semestre 2020-2, del 14 de abril al 8 de mayo de 2020, publicando dos actividades por semana, de las cuales los estudiantes debían cargar a la plataforma *Classroom*, tareas o productos por equipo, de máximo 5 integrantes, que dieran constancia de la elaboración de dichas actividades.

El examen de evaluación de conocimientos posterior a la intervención se aplicó por Google Forms. El instrumento consta de ocho preguntas de opción múltiple (3

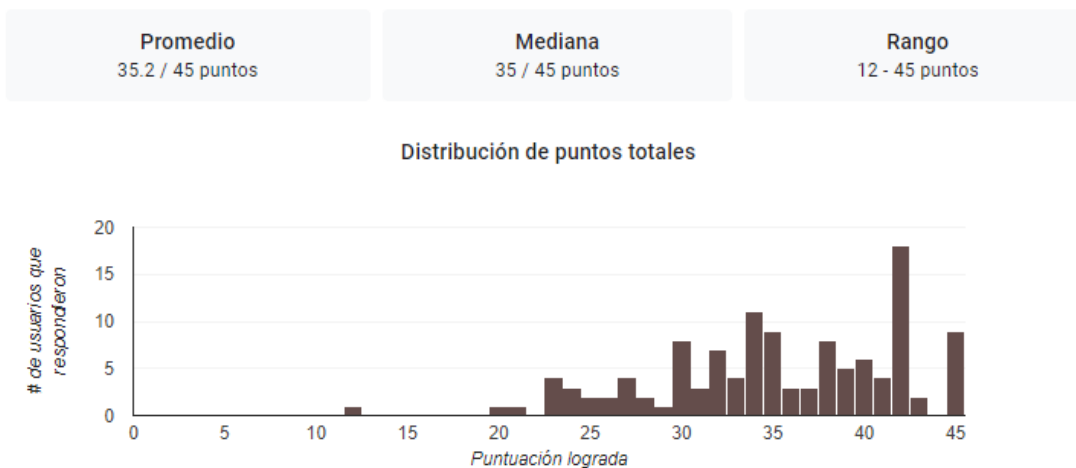
puntos cada una), una pregunta de relación de columnas (6 puntos, un punto por relación correcta) y tres preguntas abiertas (5 puntos cada una), sumando un total de 45 puntos.

Para esta intervención no se consideró aplicar un examen diagnóstico, ya que el principal objetivo fue indagar sobre las ideas previas que los alumnos tienen. El examen completo se puede consultar en la siguiente dirección electrónica:

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSc3DUxl_VoHMuy7ErsiEGluAfMlxa5z0M63l8ZD7fsZSh2Sbw/viewform?usp=sf_link

Se obtuvieron 121 respuestas registradas correspondientes a todos alumnos de los 6 grupos, el examen fue aplicado el día 8 de mayo del 2020 en un horario de 17:00 a 19:00 horas. Posterior a esta hora se anuló la recepción de respuestas al formulario. Se obtuvo un índice de aprobación del 88%, es decir, alumnos que obtuvieron 27 o más puntos; y el promedio general fue de 35.2 puntos de un máximo de 45 puntos.

En la Gráfica 2 podemos ver, en el eje de las abscisas, el puntaje y en el eje de las ordenadas el número de alumnos que obtuvieron dicho puntaje.



Gráfica 2. Puntuación obtenida en el examen Radiación de cuerpo negro, posterior a la implementación de la secuencia didáctica a distancia.

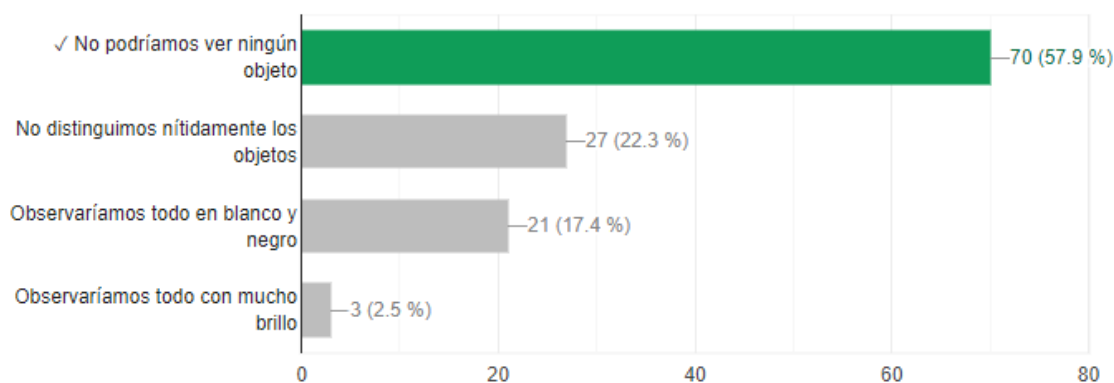
También se llevó a cabo un análisis cuantitativo de cada pregunta de opción múltiple y un análisis cualitativo de las respuestas a las preguntas abiertas en el que se enfatizó la revisión del razonamiento y los conceptos utilizados por los alumnos.

IV.3.a Análisis por pregunta de opción múltiple.

Primera pregunta. 70 alumnos, correspondiente a un 57.9%, contestaron correctamente (Gráfica 3).

Si no llegara luz visible a nuestros ojos, de los objetos que la reflejan entonces:

70/121 respuestas correctas

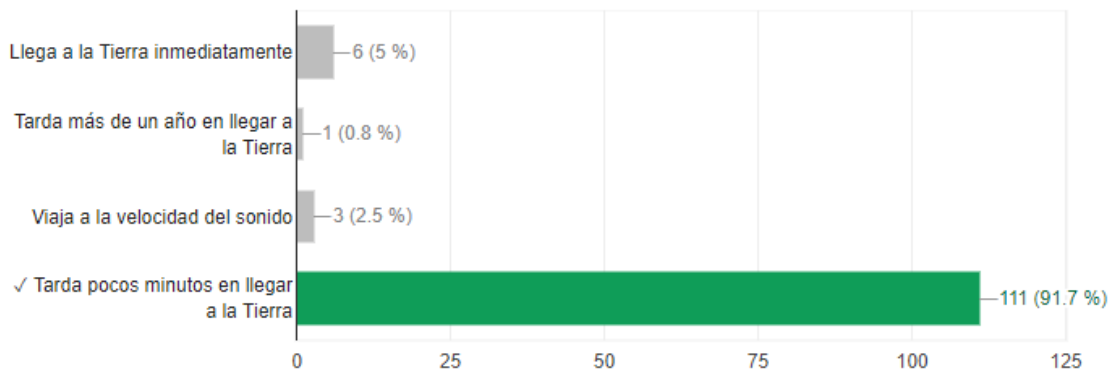


Gráfica 3. Número y porcentaje de alumnos que respondieron a cada una de las opciones de la primera pregunta.

Segunda pregunta. 111 alumnos contestaron correctamente, lo que equivale al 91.7% (Gráfica 4).

La luz que proviene del Sol:

111/121 respuestas correctas

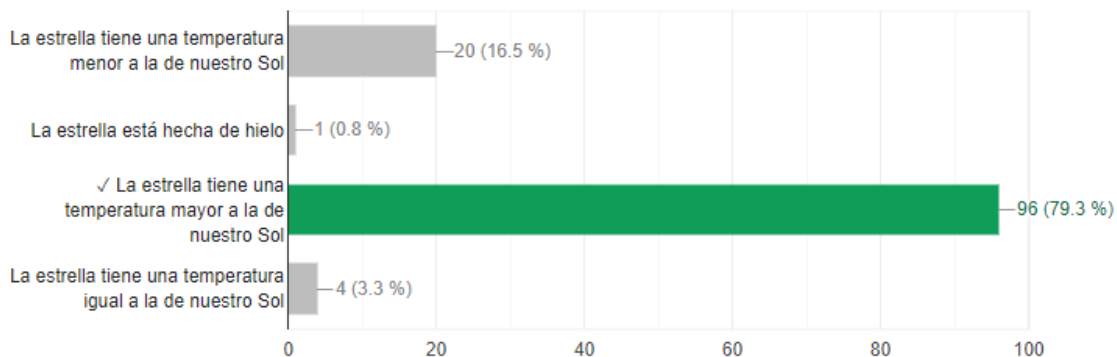


Gráfica 4. Número y porcentaje de alumnos que respondieron a cada una de las opciones de la segunda pregunta.

Tercera pregunta. 96 alumnos contestaron correctamente, el equivalente al 79.3% (Gráfica 5).

En una noche al observar en el cielo oscuro una estrella azul titilante, podemos decir que:

96/121 respuestas correctas

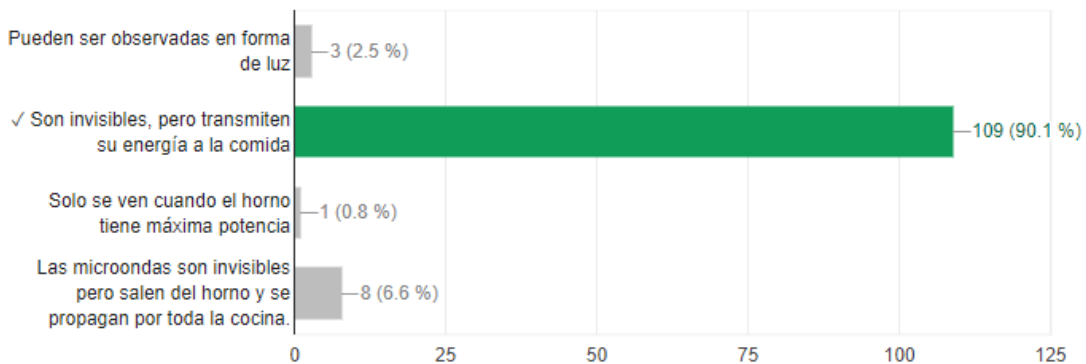


Gráfica 5. Número y porcentaje de alumnos que respondieron a cada una de las opciones de la tercera pregunta.

Cuarta pregunta. 109 alumnos (90.1%) contestaron de forma correcta (Gráfica 6).

Cuando utilizas un horno de microondas para calentar tu comida, las microondas generadas:

109/121 respuestas correctas

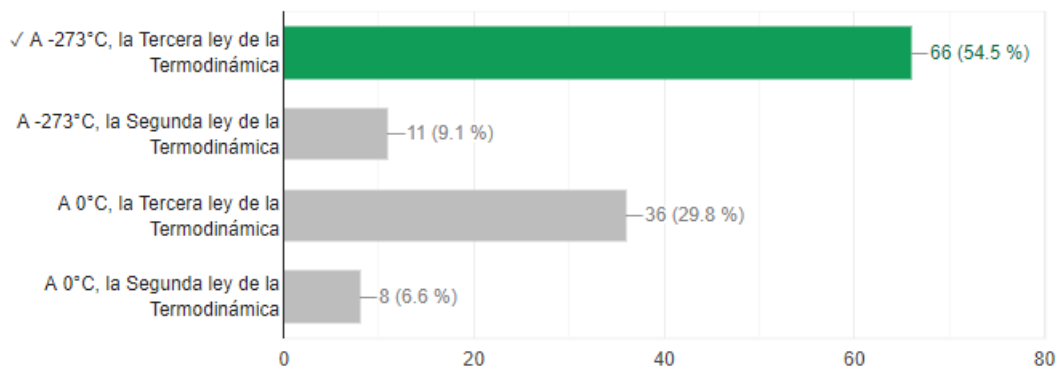


Gráfica 6. Número y porcentaje de alumnos que respondieron a cada una de las opciones de la cuarta pregunta.

Quinta pregunta. 66 alumnos contestaron correctamente, el equivalente al 54.5% (Gráfica 7).

Según la física clásica, ¿a qué temperatura la materia deja de emitir ondas electromagnéticas y que ley de la física lo predice?

66/121 respuestas correctas

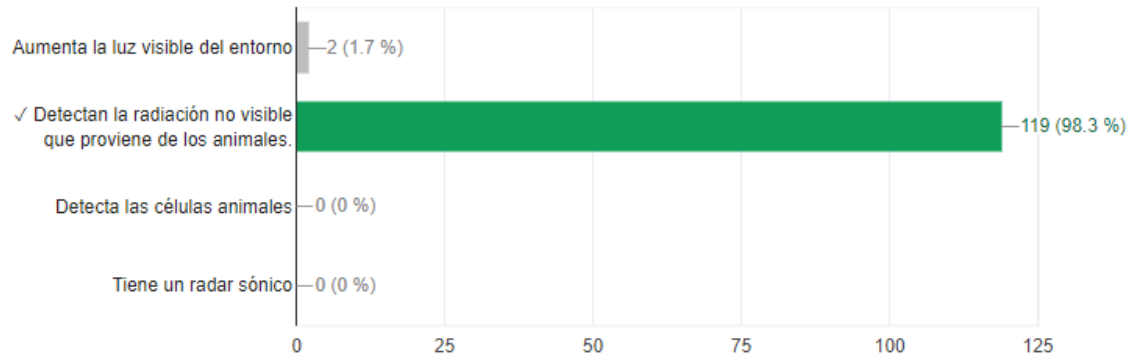


Gráfica 7. Número y porcentaje de alumnos que respondieron a cada una de las opciones de la quinta pregunta.

Sexta pregunta. 119 alumnos contestaron correctamente, lo que equivale al 98.3% (Gráfica 8).

Estando en el campo, en una noche totalmente oscura, sin luz de luna, podemos ver los animales con una cámara infrarroja, esto es debido a que la cámara infrarroja:

119/121 respuestas correctas

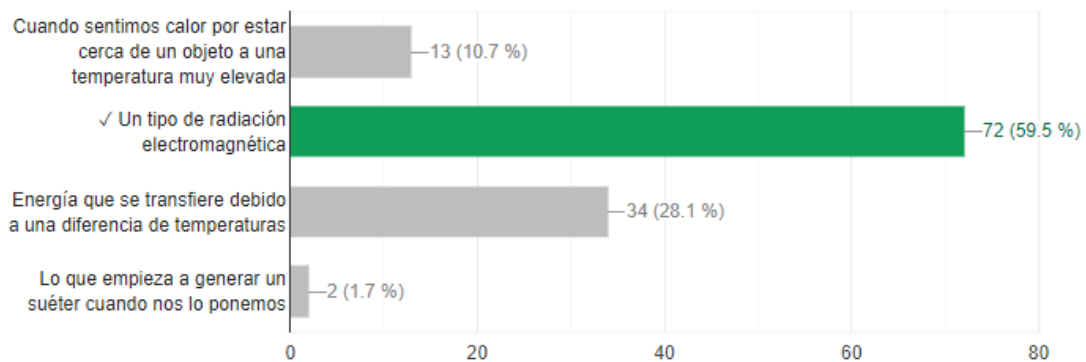


Gráfica 8. Número y porcentaje de alumnos que respondieron a cada una de las opciones de la sexta pregunta.

Séptima pregunta. 72 alumnos (59.5%) contestaron correctamente (Gráfica 9).

Se puede decir que la radiación térmica es:

72/121 respuestas correctas

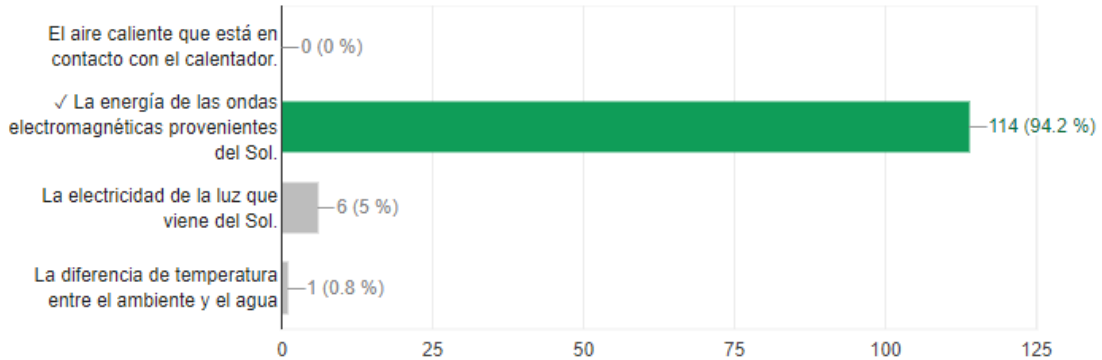


Gráfica 9. Número y porcentaje de alumnos que respondieron a cada una de las opciones de la séptima pregunta.

Octava pregunta. 114 alumnos contestaron correctamente, el equivalente al 94.2% (Gráfica 10).

En un calentador de agua solar, ¿qué es lo que provoca el aumento de temperatura del agua?

114/121 respuestas correctas



Gráfica 10. Número y porcentaje de alumnos que respondieron a cada una de las opciones de la octava pregunta.

La novena pregunta solicitaba ordenar, de menor a mayor, la energía que transporta un fotón de luz roja, rayos X, luz UV, microondas, rayos gamma y un fotón de radiación infrarroja. La pregunta es la siguiente:

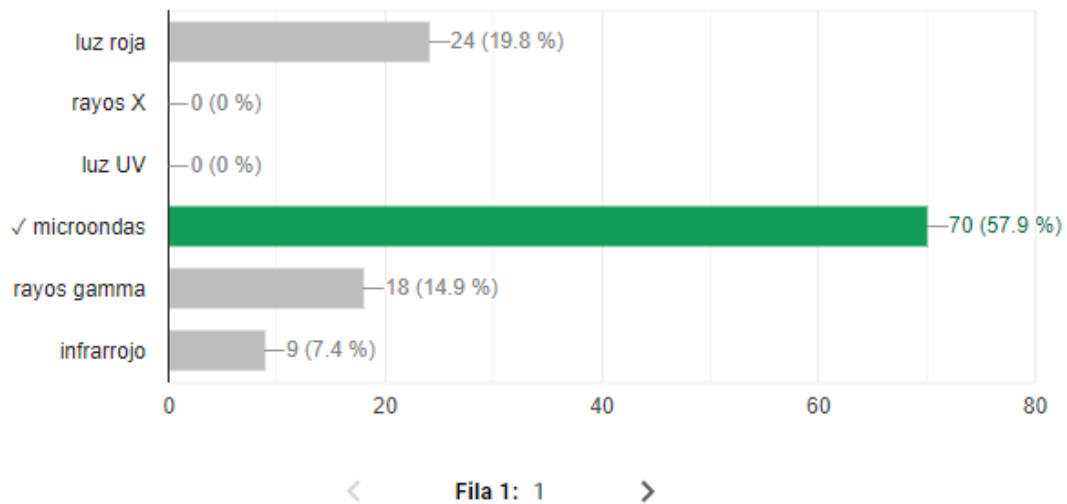
Un fotón es la partícula portadora de todas las formas de radiación electromagnética. Como se vio en las lecturas, las ondas electromagnéticas transportan energía. Marca con 1 la onda electromagnética de menor energía y así sucesivamente hasta 6 la onda electromagnética con mayor energía .

6 puntos

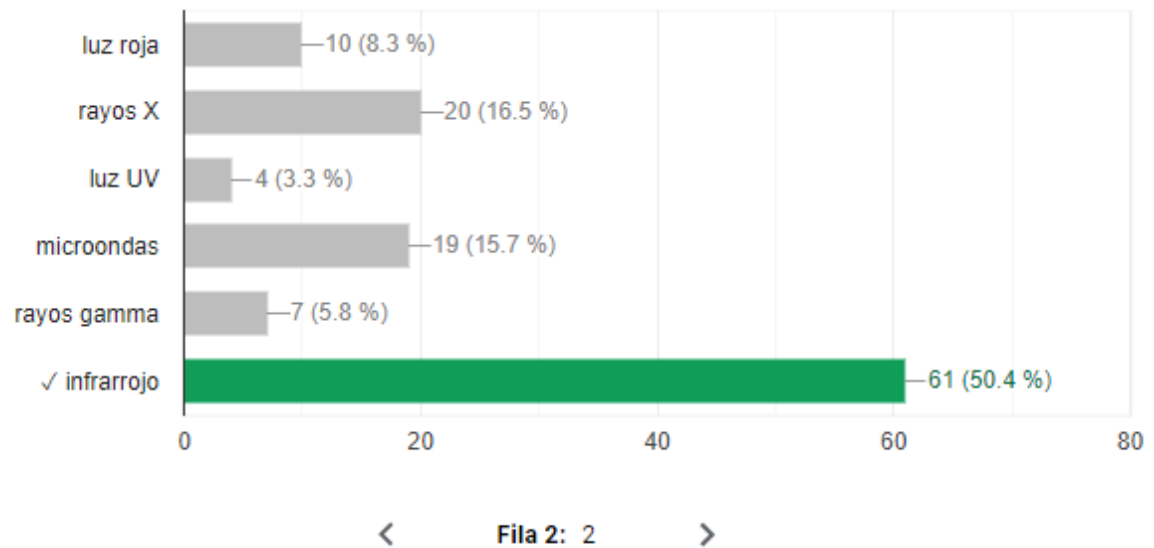
	luz roja	rayos X	luz UV	microondas	rayos gamma	infrarrojo
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 7. Novena pregunta del examen de evaluación de la intervención a distancia.

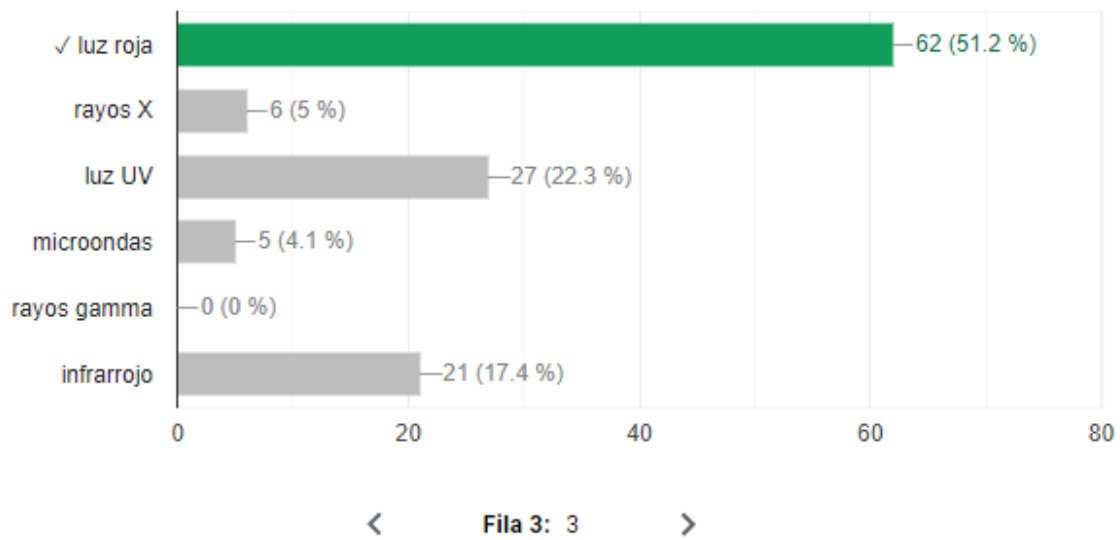
Se presentan por fila las respuestas de los alumnos:



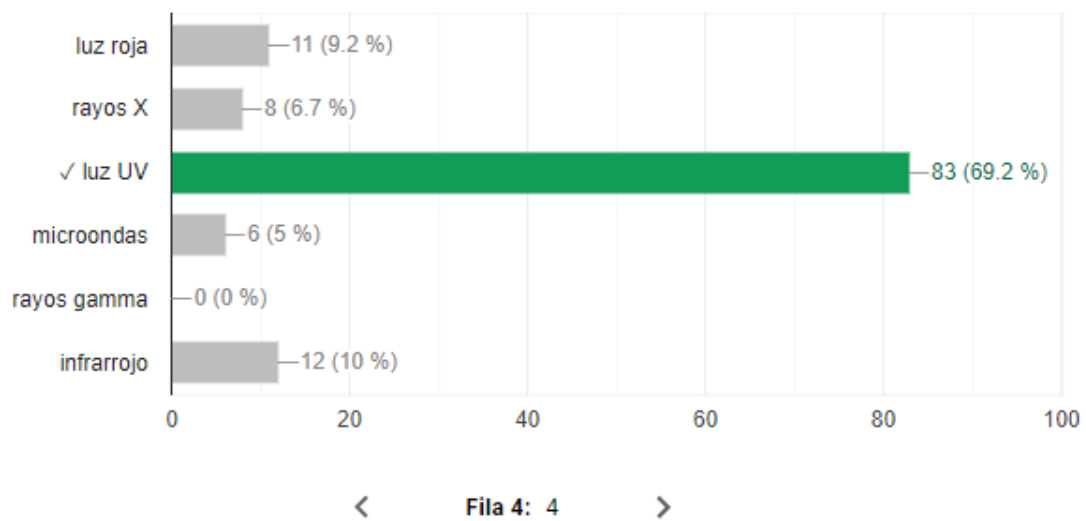
Gráfica 11. Respuestas a la fila 1 de la novena pregunta.



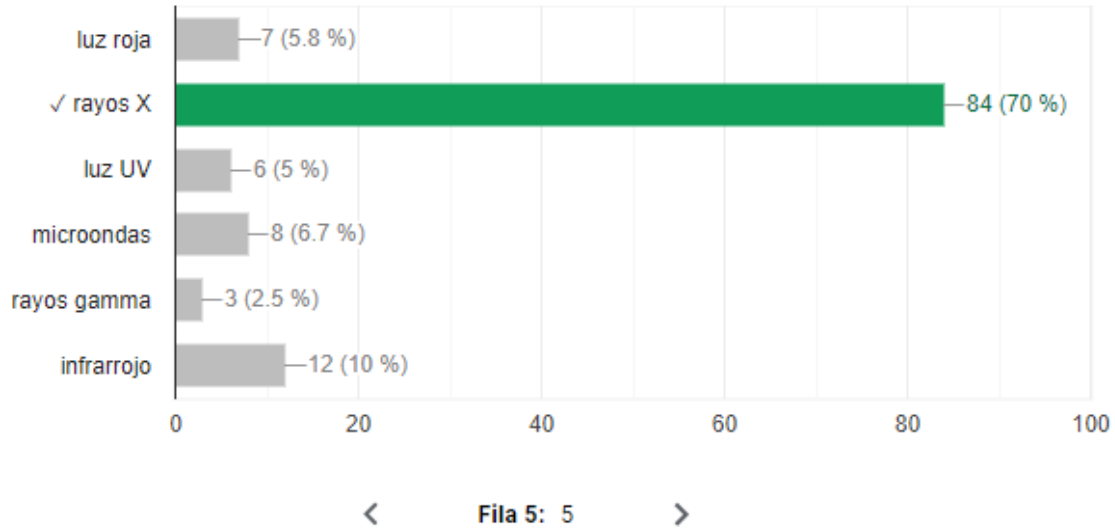
Gráfica 12. Respuestas a la fila 2 de la novena pregunta



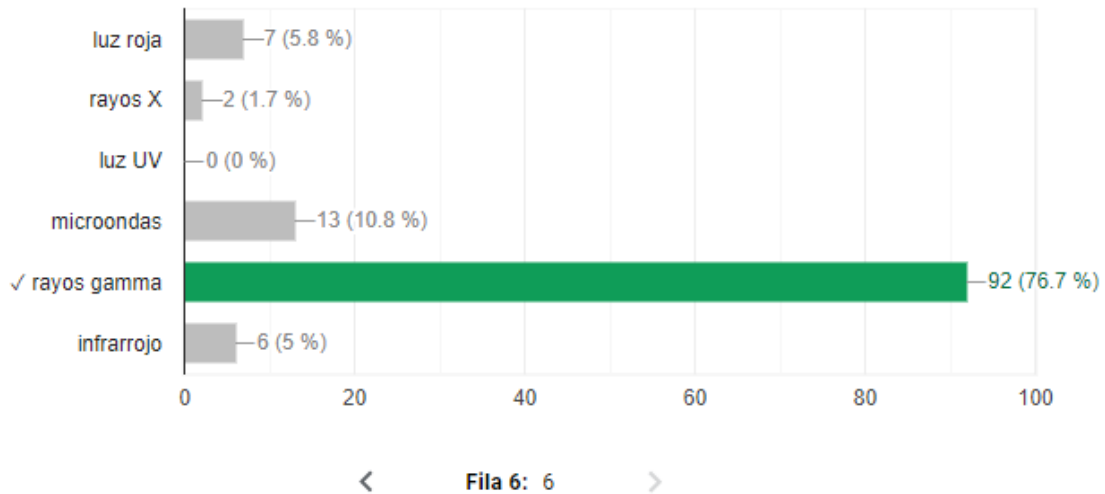
Gráfica 13. Respuestas a la fila 3 de la novena pregunta



Gráfica 14. Respuestas a la fila 4 de la novena pregunta



Gráfica 15. Respuestas a la fila 5 de la novena pregunta



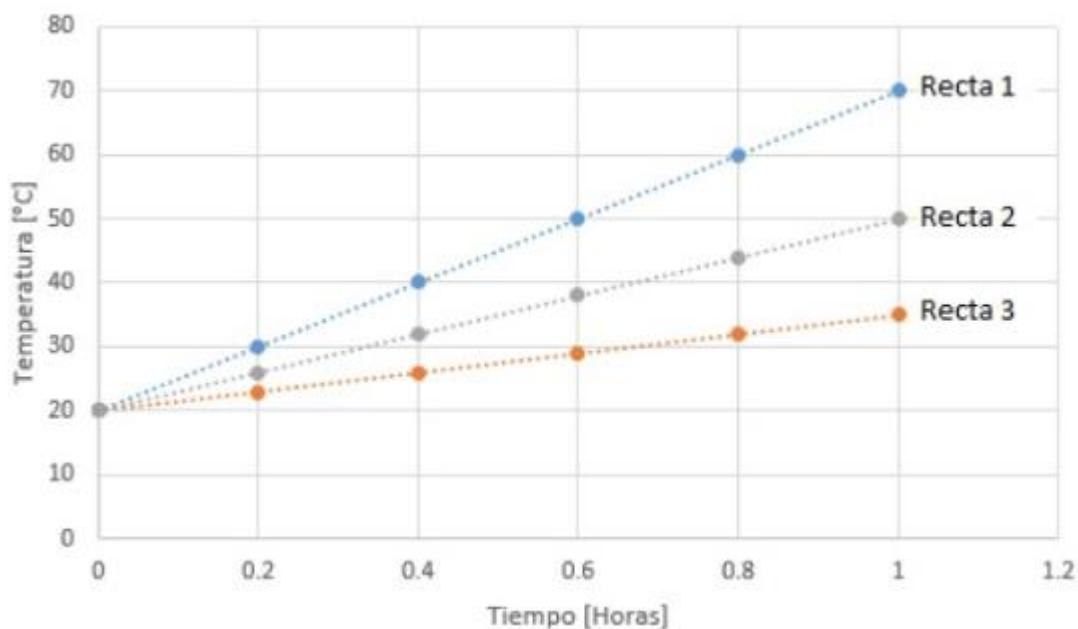
Gráfica 16. Respuestas a la fila 6 de la novena pregunta

Cabe señalar que como tarea habían realizado una actividad similar, ordenando de mayor a menor energía. Se les proporcionó la longitud de onda y con la ley de Planck para calcular la energía de cada fotón. Esto causó mucha confusión al responder el examen, ya que algunos alumnos ordenaron de mayor a menor energía, en lugar de menor a mayor como se solicitaba en el reactivo.

A continuación se presenta el análisis cualitativo de las preguntas abiertas; para cada una de éstas se transcriben algunas de las respuestas de los alumnos, en las que se muestran los errores conceptuales que se mantienen. En el capítulo final se discute sobre este aspecto.

IV.3.b Análisis de la primera pregunta abierta.

Citando la pregunta: *En un curso de Física en el CCH se construyen tres calentadores solares caseros; los tres SON IGUALES, salvo que se pintan de distintos colores, uno es de color blanco, otro de color negro y el último de color rojo. Las siguientes gráficas muestran los resultados experimentales obtenidos al dejar los calentadores bajo la radiación solar durante una hora, midiendo la temperatura del agua de cada calentador solar cada 0.2 horas. Escribe a qué calentador solar corresponde cada recta de la gráfica, argumenta tu respuesta.*



Ahora se presentan algunas respuestas de los alumnos. Si bien hubo respuestas que cumplían perfectamente con los criterios para considerarlas correctas, para este trabajo se seleccionaron aquellas que tienen la idea general pero que utilizan

conceptos equivocados. Este trabajo no busca repetir la respuesta correcta 50 veces autenticando que las actividades funcionaron para construir el conocimiento del alumno, en su lugar, pretende identificar los errores que con frecuencia cometen los estudiantes; la finalidad de describir los problemas de aprendizaje que hay en torno a algunos conceptos y la dificultad para cambiar las ideas que los alumnos se han formado.

“Recta 1: Color negro Absorbe toda la luz y no refleja nada, es por esto que se calienta mucho. Recta 2: Color rojo Absorbe un poco de luz y refleja las correspondientes al color rojo, pienso que la temperatura no es ni tan caliente ni fría. Recta 3: Color blanco Refleja toda la luz y por eso no se calienta mucho”

“La recta 1 es del calentador negro, que al absorber todo el espectro, absorbe una mayor cantidad de radiación, la recta 2 es del rojo, este solo absorbe un tono del espectro y "rebota" los demás y el último es el blanco, que este "rebota" todo el espectro y absorbe una menor cantidad de radiación”

“La primera (recta 1) es la de color negro puesto que este color atrae con más facilidad la luz del sol, la segunda (recta 2) es la de color rojo porque este color no influye en atraer o reflejar los colores y por último (recta 3) este al ser de color blanco refleja la luz solar por lo que la energía de este es menor”

“Esto debido a que el negro absorbe el calor y el blanco lo dispersa en todas las direcciones, haciendo que el agua se caliente en vez de absorberlo”

“La recta 1, corresponde al calentador de color negro ya que este absorbe los rayos del sol de forma más rápida, la recta 2 es de color rojo ya que es un color que absorbe la luz solar excepto el mismo color rojo, y por último la menos "caliente" es la de color blanco ya que esta refleja la luz del sol y no lo absorbe”

“La recta 1, pertenece al calentador pintado de negro, absorbe toda la radiación que proviene del sol causando una gran diferencia en la temperatura del agua. La recta 2, es del calentador pintado de rojo; toda la radiación recae sobre el pero este sólo absorbe su tono y los demás son reflejados. Esto causa un cambio notable en la temperatura del agua. La recta 3 representa el

comportamiento de la temperatura del agua con el calentador blanco. Este refleja toda la gama del espectro electromagnético y no hay un cambio tan notorio en la temperatura del líquido”

“El calentador blanco es la recta 3, ya que como el color blanco refleja todos los colores que tiene y absorbe los que le faltan, y a su vez el blanco tiene todos los colores, absorbe muy poca energía. El calentador rojo es la recta 2, ya que en cambio del blanco, absorbe el color rojo y refleja los demás. Y por último el calentador negro es la recta 1, ya que absorbe todos los colores de la luz blanca.”

“La recta 1 es del calentador negro, porque el color negro absorbe la mayor cantidad de ondas de energía, en cambio la roja solo refleja la luz roja y absorbe el resto, que es la recta 2. Por último la recta 3 es la blanca porque refleja la mayoría de ondas.”

“Recta 1: negro, ya que al estar pintado de negro el calentador absorbe todas las ondas electromagnéticas emitidas por el sol. Recta 2: rojo, este calentador absorbe más energía que el calentador pintado de blanco ya que absorbe todas las frecuencias de onda dentro de la luz visible a excepción de las rojas. Recta 3: blanco, este calentador es el que menor energía absorbe ya que refleja todas las frecuencias de onda que se encuentran dentro de la luz visible”

“Recta1-calentador negro, recta2-calentador rojo, recta3-calentador blanco. Esto se debe a que el color negro absorbe y retiene una mayor cantidad de energía y el color blanco es un mayor emisor por lo que no es bueno reteniendo la energía”

Los alumnos expresan sus ideas y describen el resultado del fenómeno de una manera correcta. A continuación se enuncian los errores cometidos en letra cursiva y la adecuación utilizando conceptos correctos de la idea que los alumnos quieren transmitir:

“Se calienta mucho” en vez de: eleva su temperatura rápidamente

“El calentador negro absorbe todo el espectro” en vez de: El color negro absorbe toda la luz visible.

“El color negro atrae la luz del Sol” en vez de: Una superficie de color negro absorbe la luz visible ya que el atraer la luz se puede ver con intensos campos gravitatorios y no con una superficie de color negro.

“Absorbe el calor” en vez de: Absorbe la luz, la cual transporta energía y al almacenar dicha energía, el agua incrementa su temperatura.

“El negro absorbe los rayos del Sol de forma más rápida” Absorbe más rayos del Sol, pero no de forma más rápida.

“Absorbe el color rojo” Los colores no pueden ser absorbidos, lo que se absorbe son las ondas electromagnéticas con longitud de onda correspondientes al color rojo.

“Absorbe la mayor cantidad de ondas de energía” Utilizando ondas de energía en vez de ondas electromagnéticas.

“Al estar pintado de negro el calentador absorbe todas las ondas electromagnéticas emitidas por el sol” Confundiendo una superficie de color negro con un cuerpo negro.

IV.3.c Análisis de la segunda pregunta abierta.

Pregunta. *Algunas características de las ondas electromagnéticas son que pueden ser absorbidas, reflejadas y emitidas. Describe un ejemplo en el que puedas observar cada fenómeno y explica tu ejemplo.*

Se transcriben algunas de las respuestas a la segunda pregunta y, enseguida, se identifica el error en la idea que se transmite.

“Las ondas reflejadas y absorbidas pueden ser los colores como tal, ya que estos absorben todas las ondas de colores diferentes a excepción de las del color que son (o sea que reflejan una onda "verde" y absorben todas las del demás espectro de color). Un ejemplo donde son emitidas es el calor, pues aquí emitimos ondas infrarrojas las cuales emiten el calor corporal o de una fogata por ejemplo.”

Confunde la radiación térmica que emite una persona con el concepto de calor.

“Absorción: Un ejemplo de la absorción de la radiación puede ser la ciudad de Pripjat en Chernóbil donde la radiación a día de hoy continúa. Reflejo: Un ejemplo es cuando en un espejo apuntamos con la luz vemos cómo esa luz aparece atrás o otro podría ser el la botella o el calentador pintado de blanco. Emitidas: El sol emite ondas electromagnéticas que viajan por el espacio hasta llegar a nuestro planeta, donde esté absorbe la energía y mantiene la vida en el planeta.”

Confunde la radiación electromagnética con radiación nuclear

“Primero cuando utilizamos ropa de color negro, aquí se percibe una cantidad de ondas electromagnéticas que se almacenan, luego en otro caso donde se utiliza ropa blanca se refleja la luz visible por lo tanto no se concentra tantas ondas y por último nosotros podemos emitir las ondas electromagnéticas puesto que todos los átomos emiten ondas electromagnéticas”

Las ondas electromagnéticas no se almacenan.

“absorción: calentador solar, los tubos absorben la energía del sol calentando el agua que estos contienen; reflejadas: un espejo, al chocar con la superficie del espejo se provoca un cambio de dirección; emitidas: el cuerpo humano, cuando nos chapeamos es porque el cuerpo recibe mucha calefacción y la transforma en luz visible”

El concepto es correcto: un objeto a una temperatura elevada emite luz visible, pero considera que esta temperatura se alcanza cuando una persona se sonroja y sus mejillas emiten luz visible, sin embargo, seguimos emitiendo en infrarrojo.

“Las ondas electromagnéticas pueden ser emitidas por el calor, un claro ejemplo de ellas son las –ondas infrarrojas”

Este alumno confunde la radiación térmica con calor, siendo un error detectado más de una vez en varias respuestas.

IV.3.d Análisis de la tercera pregunta abierta.

Pregunta. *La ley de Stefan-Boltzman relaciona dos magnitudes físicas de un mismo objeto: Una microscópica que podemos asociar con cosas muy pequeñas como las moléculas del agua de un calentador solar; y la otra es una variable macroscópica que se asocia a sistemas grandes como toda el agua que contiene el mismo calentador solar. ¿Cuáles son estas magnitudes físicas? Explica tu respuesta.*

Respuestas de algunos alumnos a la tercera pregunta, que posteriormente serán comentados:

“Las microscópicas pueden ser las ondas que alteran a las moléculas del agua, y macroscópicas puede ser la temperatura total que tiene el agua después de ser calentada por las ondas”

“La temperatura la cual es macroscópica y σ que es la constante la cual es microscópica para así sacar la energía producida de un cuerpo”

“Esta ecuación es igual a $E=\sigma T^4$ y las variables que se necesitan son: 1 $T=$ Temperatura que se usa en Kelvins 2 $\sigma=$ La constante $\sigma= 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ J/sm}^2 \text{ K}^4$ ”

“esta ecuación es igual a $E=\sigma T^4$, y las variables son: T , que es igual a la temperatura que se medirá en kelvins σ , que es igual a la constante $\sigma=5.67 \cdot 10^{-8} \text{ J/sm}^2 \text{ K}^4$ ”

“la temperatura y la energía, esto porque en todas las moléculas hay energía, lo que quiere decir que todo contiene energía, y la temperatura se asocia pues, a la manera (una de tantas) en las que se puede medir la energía que irradia

un cuerpo, y en especial la ley de stefan-boltzman usa estos términos para conocer lo que irradia o logra irradiar un cuerpo negro”

“Magnitud microscópica es la constante de Stefan-Boltzman, que es la radiación térmica de las moléculas. Magnitud macroscópica es la temperatura de todo el sistema”

“Una magnitud es la calorífica y otra magnitud es la temperatura. Están relacionadas porque un cuerpo (el que sea) en una cierta temperatura emite ondas electromagnéticas y cuando la temperatura es más alta, las ondas se van haciendo más pequeñas”

“Son la temperatura y la superficie de un cuerpo negro Esta es para poder calcular la energía de un cuerpo negro a partir de estas 2 variables”

Los errores en estas respuestas son varios, confundir el incremento de temperatura del agua con “calentar el agua”; identificar la variable microscópica como la constante de Stefan-Boltzman debido a que es muy pequeña; y, nuevamente, se confunde el concepto de radiación térmica con calor.

Concretamente, algunas ideas previas identificadas como errores conceptuales que se han apreciado en ambas intervenciones son:

- El calor proviene de un objeto que está a una temperatura muy elevada.
- Los ojos necesitan de la luz del día para ver.
- El sol incide sobre ti; entonces, si traes puesta una camisa de color rojo, la luz del sol toma el color rojo de tu camisa.
- Un objeto se ve si está iluminado y el ojo debe tener una luz que ilumine lo que se quiere ver.
- La luz es transparente, puedes ver a través de ella.
- La luz del sol es una mezcla de toda clase de luces, luz ultravioleta y luz radiactiva...
- La luz no existe en el espacio que hay entre la fuente y el efecto que produce.

- La luz que llega del Sol se propaga a través del aire.
- La luz que proviene del Sol llega inmediatamente.
- Año luz unidad de distancia.
- Una estrella azul es más fría que nuestro Sol.
- Si la temperatura de la superficie del Sol está a 5800 grados Celsius entonces existen temperaturas a miles de grados centígrados bajo cero.
- Una cámara infrarroja tiene un radar sónico y así detecta los objetos aun sin luz
- Una cámara infrarroja aumenta la luz visible del entorno.
- Una onda electromagnética tiene mayor energía si va a mayor velocidad.
- El color de la luz que emite un metal cuando está muy caliente depende de que material sea.
- La radiación térmica se refiere a la sensación de calor por estar cerca de un objeto a una temperatura elevada.
- El agua que contiene un calentador solar eleva su temperatura debido a la diferencia de temperatura entre el ambiente y el aire.

V. Conclusiones

Con los datos de la secuencia didáctica implementada de manera presencial en el Colegio de Ciencias y Humanidades, plantel Sur, se pudo notar que los alumnos hacen referencia a las actividades y experimentos interesantes que se realizaron en clase, resaltándolos como factores positivos de la secuencia didáctica y reafirmando con una experiencia propia lo que postula Cheung en su trabajo "*The key factors affecting students individual interest in school science lessons*": para generar una motivación en el alumno actúa la autopercepción en la que se sitúa éste sobre sus conocimientos de la materia, pero principalmente influyen las experiencias que tenga el alumno en cada materia. En este caso intenté propiciar un ambiente de trabajo respetuoso y agradable a través de actividades experimentales demostrativas interesantes que, como se observó en las respuestas abiertas, influyeron de manera positiva en la asimilación de los conceptos físicos estudiados.

En los resultados de las actividades virtuales aplicadas en seis grupos del Colegio de Ciencias y Humanidades del plantel Oriente pudimos notar que, un factor importante que complica la enseñanza de las ciencias es que las personas tendemos a construir nuestro propio conocimiento con base en nuestras experiencias cotidianas y en lo que comprendemos de éstas, por lo que muchas veces entendemos los conceptos de forma incorrecta y, como consecuencia, explicamos los fenómenos naturales que observamos con estos conceptos erróneos. La Física no es intuitiva y nuestros sentidos son muy limitados para comprenderla.

Las ideas previas son muy difíciles de modificar. Si bien los estudiantes logran transmitir las ideas adecuadas, no logran describirlas con los conceptos físicos apropiados.

Los alumnos que mejor respondieron las preguntas abiertas y, en general, los que obtuvieron mejor calificación son los que hacen referencia a las lecturas, videos y experimentos que se dejaron en las actividades: videos de absorción de radiación

electromagnética, así como los experimentos de las botellas pintadas de colores y de cubrir un radio con papel aluminio, entre otros. Esto verifica que la educación en línea, y toda la educación, implica que el alumno construya de manera autónoma su propio aprendizaje con la guía de un profesor como moderador. Sin una organización adecuada de tiempo y espacio por parte del estudiante, las actividades en línea pueden hacerse con poca consciencia, lo que lleva a un pobre aprovechamiento.

Resultaría interesante contrastar los resultados obtenidos de la secuencia implementada con los alumnos del CCH Oriente con datos de una aplicación de la misma secuencia didáctica de alumnos de la Escuela Nacional Preparatoria, ya que recientemente actualizó sus programas de estudio y enfatizó la promoción del aprendizaje autónomo.

VI. Anexos

Anexo I. Pretest.



Instrucciones: Encierra en un círculo la respuesta que consideres correcta. Este examen solo es diagnóstico.

Alumno:

Grupo:

Fecha:



- Si no llegara luz visible a nuestros ojos, entonces:
 - No distinguimos nítidamente los objetos.
 - No podríamos ver ningún objeto.
 - Observaríamos todo en blanco y negro.
 - Observaríamos todo con mucho brillo.
- La luz que llega a la Tierra y que proviene del Sol se propaga a través de:
 - El éter.
 - El aire.
 - Los átomos.
 - El vacío.
- La luz que proviene del Sol:
 - Llega a la Tierra inmediatamente.
 - Tarda más de un año en llegar a la Tierra.
 - Viaja a la velocidad del sonido.
 - Tarda pocos minutos en llegar a la Tierra.
- En una noche al observar en el cielo oscuro una estrella azul titilante, podemos decir que
 - La estrella está hecha de hielo.
 - La estrella tiene una temperatura menor a la de nuestro Sol.
 - La estrella tiene una temperatura mayor a la de nuestro Sol.
 - La estrella tiene una temperatura igual a la de nuestro Sol.
- Cuando utilizas un horno de microondas para calentar tu comida, las microondas generadas por el electrodoméstico:
 - Pueden ser observadas en forma de luz.
 - Son invisibles, pero transmiten su energía a la comida.
 - Solo se ven cuando el horno tiene máxima potencia.
 - Las microondas son invisibles pero salen del horno y se propagan por toda la cocina.
- En vacaciones te decides a cuidar el medio ambiente y tratas de construir un calentador de agua solar casero con unas mangueras de color rojo para agua, las cuales encontraste en tu casa, ¿qué podrías hacer para mejorar la eficiencia de tu calentador solar?
 - Pintar las mangueras de negro.
 - Pintar las mangueras de blanco.
 - Cubrir las mangueras con papel aluminio brillante.
 - No pintar las mangueras.
- Cuando hay bajas temperaturas un suéter ayuda a quitarte la sensación de frío, debido a que el suéter:
 - Esta calentito.
 - Hace que aumente tu temperatura corporal.
 - Te aísla del exterior.
 - Se calienta y este después te calienta a ti.
- Según la física clásica, ¿a qué temperatura se detiene el movimiento de las partículas que componen la materia y que ley de la física lo predice?
 - A -273°C , la Tercera ley de la Termodinámica.
 - A -273°C , la Segunda ley de la Termodinámica.
 - A 0°C , la Tercera ley de la Termodinámica.
 - A 0°C , la Segunda ley de la Termodinámica.
- Estando en la selva de noche, podemos ver los animales con una cámara infrarroja, esto es debido a que la cámara infrarroja:
 - Aumenta la luz visible del entorno.
 - Detecta la luz no visible que proviene de los animales.
 - Detecta las células animales.
 - Tiene un radar sónico.
- La energía radiante que transportan las ondas electromagnéticas, se mide en:
 - Newtons.
 - Joules.
 - Watts.
 - Watts por metro cuadrado.
- Una definición de calor es:
 - El aumento de temperatura de un objeto.
 - La disminución de temperatura de un objeto.
 - Lo que genera un objeto a una temperatura elevada.
 - Energía que se transfiere debido a una diferencia de temperatura.
- Este tipo de onda electromagnética es más energética que una onda electromagnética de rayos X
 - Luz ultravioleta.
 - La luz blanca.
 - Las del microondas.
 - Rayos gama.

13. La energía que tiene una onda electromagnética es:

- a) Proporcional a su frecuencia
- b) Inversamente proporcional a su frecuencia
- c) Mayor si su velocidad aumenta
- d) Menor si su velocidad aumenta

14. Cuando un herrero funde metales, el color del metal fundido a una temperatura elevada, depende de:

- a) De la temperatura del metal
- b) De que metal sea (cobre, hierro, plata, oro, aluminio, etc.)
- c) De la persona que observe el metal fundido
- d) Del recipiente que contenga el metal fundido

15. Se puede decir que la radiación térmica es:

- a) Cuando sentimos calor por estar cerca de un objeto a una temperatura muy elevada.
- b) Un tipo de radiación electromagnética.
- c) Energía que se transfiere debido a una diferencia de temperaturas.
- d) Lo que empieza a generar un suéter cuando nos lo ponemos.

16. Para mejorar la eficiencia de un calentador solar, es mejor que el colector de agua del calentador:

- a) Tenga un albedo grande.
- b) Tenga un albedo bajo.
- c) Tenga un albedo variable según el clima.
- d) Refleje toda la luz.

17. La radiación térmica emitida por la superficie terrestre que es absorbida por los gases de la atmósfera, es un problema de

- a) Enfriamiento del planeta.
- b) Respiración de gases nocivos.
- c) Efecto invernadero.
- d) Contaminación del suelo.

18. En un calentador de agua solar, ¿qué es lo que provoca el aumento de temperatura del agua?

- a) El aire caliente que está en contacto con el calentador.
- b) La energía de la luz del Sol.
- c) La electricidad de la luz que viene del Sol.
- d) La diferencia de temperatura entre el ambiente y el agua.

II. En este espacio en blanco, escribe que carrera te gustaría estudiar y explica si te gusta o no la física y ciencia en general y por qué.



Alumno: _____ Fecha: _____ Grupo: _____

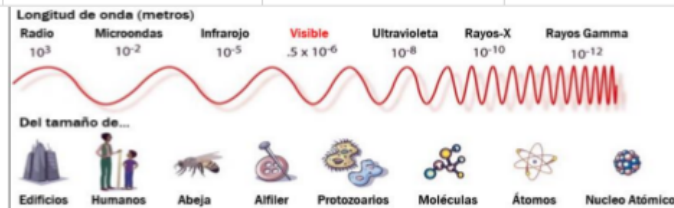
Tarea Sobre el Espectro Electromagnético

Instrucciones: Ve los siguientes videos de YouTube y en base a la información de los mismos completa el siguiente cuadro.

- El espectro electromagnético 1 NASA (Español): <https://youtu.be/ixwx0Qf50kc>
- El espectro electromagnético 3 NASA (Español): <https://youtu.be/VWWSu0BrQkk>
- El espectro electromagnético 6 NASA (Español): <https://youtu.be/MM6BjtLEH34>
- El espectro electromagnético 8 NASA (Español): <https://youtu.be/4tK-FRo9Ktk>

- El espectro electromagnético 2 NASA (español): <https://youtu.be/i985eNEB2QM>
 - El espectro electromagnético 4 NASA (Español): <https://youtu.be/8ybXNZQz5Q>
 - El espectro electromagnético 7 NASA (Español): <https://youtu.be/OD8Ff1hHk1U>
- NOTA: No es necesario ver el video 5 para realizar esta actividad

Tipo de radiación electromagnética	Características	Longitud de Onda	¿Qué puede emitir esta radiación?	¿Es peligrosa su exposición al ser humano?	Algún uso o dato curioso
Radio					
Microondas					
Radiación Infrarroja					
Ultravioleta					
Rayos X					
Rayos gama y					



Anexo III. Hoja de actividades de la segunda clase.



Universidad Nacional Autónoma de México
Colegio de Ciencias y Humanidades Plantel Sur



Mesa #: _____ Grupo: _____ Fecha: _____

Espectro electromagnético, la luz visible.

¿Será posible construir una capa de invisibilidad como la de Harry Potter?, ¿Por qué?

Actividad 1. Simulador PhET color y visión.

1. Cuando pones las lámparas verde, azul y roja, que colores hay que mezclar para que el observador vea:
 - a) Una luz blanca: _____
 - b) Una luz cian: _____
 - c) Una luz magenta: _____
 - d) Una luz amarilla: _____

2. En la modalidad lámpara simple coloca un filtro verde y luz blanca, ¿Qué ocurre?

3. Ahora coloca un filtro verde e incide luz verde con la lámpara, ¿qué ocurre?

4. Coloca un filtro verde y una luz morada con la lámpara, ¿qué ocurre?

5. Coloca un filtro color cian y una luz verde con la lámpara, ¿por qué pasa la luz verde?

Actividad 2. Marca con una X en dónde un filtro deja pasar la luz de un láser verde.

COLOR DEL FILTRO	PASA LUZ	NO PASA
Verde		
Rojo		
Azul		
Magenta		
Amarillo		
Cian		

Actividad 3. Escribe lo que vez cuando haces pasar luz blanca por una rejilla de difracción.

Actividad 4. Según los videos revisados, ¿por qué vemos una pera de color verde? Si la luz blanca está conformada por la mezcla de luz verde, roja y azul, ¿con que luz o luces tendríamos que iluminar una planta de color verde para poder verla de color negro?

Teóricamente, ¿es posible hacer un objeto invisible? Expliquen su respuesta

Actividad 5. Resolver los siguientes problemas (si da tiempo)

1. Calcula la energía necesaria que debe absorber 8 gramos de agua para que incremente su temperatura de 25°C a 41°C.
2. Un calentador solar con capacidad de 25litros de agua, hace que incremente la temperatura del agua de 18°C a 70°C, ¿ Cuánta energía absorbió el agua?
3. Un foco esférico de radio ($r = 10\text{cm}$) tiene una irradiancia de $100\text{W}/\text{m}^2$ cuando esta encendido, calcula la energía radiante total que emite en 5 segundos.

Anexo IV. Resumen de la tercer clase e instrucciones de tarea.

Resumen de la clase

Las O.E.M son emitidas por las partículas cargadas en movimiento. Esto fue demostrado con el experimento de Hertz.

El color blanco refleja todas las O.E.M correspondientes a la luz visible, el color negro absorbe todas las O.E.M correspondientes a la luz visible, el color verde por ejemplo lo observamos verde ya que refleja las O.E.M correspondientes al color verde mientras que absorbe todas las demás O.E.M de la luz visible.

Las O.E.M transportan energía y si un objeto absorbe O.E.M la energía que absorbió de la O.E.M se verá reflejada en el aumento de temperatura del objeto, ejemplo, calentador solar, experimento hecho en clase, quemaduras en la piel, etc.

La radiación térmica es un tipo de radiación electromagnética que se genera por el movimiento de las partículas cargadas que constituyen la materia a escala atómica, es decir los electrones, según la 3ra ley de la termodinámica el movimiento de las partículas que conforman un átomo se detiene cuando tiene una temperatura de -273.15°C ó 0K . Por el contrario si la temperatura de un objeto es muy elevada puede emitir luz visible, UV, rayos X o incluso rayos gama.

En 1860 Kirchhoff postuló: "un cuerpo negro emite la máxima cantidad de radiación posible para la temperatura a la que se encuentra, independientemente de la sustancia de que esté hecho ni ninguna otra propiedad." También un cuerpo negro absorberá toda la radiación electromagnética que incida sobre este.

En 1884 se demuestra la ley de Steffan-Boltzman: $E = \sigma T^4$ donde $\sigma = 6.67037 \times 10^{-8} \frac{\text{J}}{\text{m}^2\text{sK}^4}$

En 1893 se postula la ley de desplazamiento de Wien: $\lambda_{max} = \frac{0.0028976 \text{ metros.Kelvin}}{T}$ y a partir de la longitud de onda de un cuerpo negro se puede conocer su temperatura, inició una nueva era en la astronomía.

Hasta aproximadamente 1900 no había explicación alguna para modelar teóricamente los resultados experimentales de la distribución de la emisión de radiación electromagnética de un cuerpo negro.

Problemas de clase

1. La temperatura corporal promedio de un ser humano es de 37°C , si se aproxima el cuerpo humano a un cuerpo negro, calcula la longitud de onda de las ondas electromagnéticas que los humanos nos encontramos emitiendo, ¿a qué tipo de onda electromagnética corresponde?
2. Considera un cuerpo negro ideal, como lo definió Kirchhoff en 1860, el cual se mantiene a una temperatura constante de 4500 Kelvin:
 - a) De toda la radiación electromagnética que el cuerpo negro emite, calcula la longitud de onda, de las ondas electromagnéticas que el cuerpo negro emite con mayor energía.
 - b) De toda la radiación electromagnética que el cuerpo negro emite debido a su temperatura, calcula la energía total que el cuerpo negro emite, en un área de un metro cuadrado de su superficie, en un segundo.
3. Considera un cuerpo negro esférico, de superficie de 5m^2 se encuentra a una temperatura constante y emitiendo ondas electromagnéticas, las cuales transportan una mayor energía, cuando tienen una longitud de onda de $9.6586666 \times 10^{-7}\text{m}$, Calcula la energía que emite el cuerpo negro en un tiempo de 8 segundos.
4. La temperatura de la superficie del sol es de aproximadamente de 5500°C , calcula cuantas veces emite más energía que una bomba atómica como la de Hiroshima, que libera 15 kilotones de energía al momento de su explosión (en un segundo, en toda su superficie).

Tarea (Fecha de entrega miércoles 6 de octubre).

Elaborar un reporte de los dos experimentos realizados en clase (experimento de Hertz y experimento de absorción de energía que transportan las ondas electromagnéticas).

Ambos reportes deberán tener:

- Nombre del alumno, nombre del experimento, fecha de entrega y grupo.
- Introducción.

En esta sección debes reportar la teoría de los fenómenos físicos involucrados en los experimento, para ambos no es necesario reportar ecuaciones pues fueron demostrativos.

- Descripción del experimento.

En esta sección debes describir el montaje o arreglo experimental, puedes presentar fotografías, dibujos o imágenes para apoyar tu descripción.

- Resultados.

Reportar los resultados obtenidos en ambos experimentos (lectura del multímetro y tabla de temperaturas).

- Conclusiones.

En esta sección debes comparar los resultados obtenidos con lo que predice la teoría física, explicando con tus propias palabras si coincidió el experimento con la teoría, y si no, debes argumentar el por qué.

Videos interesantes sobre absorción de O.E.M

Darker Than Vantablack—Absorbs 99.9923% of Light: <https://youtu.be/JoLEliza9Bc>

Do Black Cars Really Get Hotter?: <https://youtu.be/ZS95SPm4f2I>

Juega con el simulador visto en clase en:

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

Anexo V. Postest.



Universidad Nacional Autónoma de México Colegio de Ciencias y Humanidades Plantel Sur



Alumno: _____ Grupo: _____ Fecha: _____

A) **Encierra el inciso que conteste o complete correctamente el enunciado. Ejemplo:**

- a)
- b)
- c)
- d)

1. Si no llegara luz visible a nuestros ojos, entonces: **(valor = 1 punto)**

- a) No distinguimos nítidamente los objetos.
- b) No podríamos ver ningún objeto.
- c) Observaríamos todo en blanco y negro.
- d) Observaríamos todo con mucho brillo.

2. La luz que proviene del Sol: **(valor = 1 punto)**

- a) Llega a la Tierra inmediatamente
- b) Tarda más de un año en llegar a la Tierra
- c) Viaja a la velocidad del sonido
- d) Tarda pocos minutos en llegar a la Tierra

3. En una noche al observar en el cielo oscuro una estrella azul titilante, podemos decir que: **(valor = 1 punto)**

- a) La estrella está hecha de hielo
- b) La estrella tiene una temperatura menor a la de nuestro Sol
- c) La estrella tiene una temperatura mayor a la de nuestro Sol
- d) La estrella tiene una temperatura igual a la de nuestro Sol

4. Cuando utilizas un horno de microondas para calentar tu comida, las microondas generadas: **(valor = 1 punto)**

- a) Pueden ser observadas en forma de luz
- b) Son invisibles, pero transmiten su energía a la comida
- c) Solo se ven cuando el horno tiene máxima potencia
- d) Las microondas son invisibles pero salen del horno y se propagan por toda la cocina.

5. Según la física clásica, ¿a qué temperatura la materia deja de emitir ondas electromagnéticas y que ley de la física lo predice? **(valor = 1 punto)**

- a) A -273°C , la Tercera ley de la Termodinámica
- b) A -273°C , la Segunda ley de la Termodinámica
- c) A 0°C , la Tercera ley de la Termodinámica
- d) A 0°C , la Segunda ley de la Termodinámica

6. Estando en el campo, en una noche totalmente oscura, sin luz de luna, podemos ver los animales con una cámara infrarroja, esto es debido a que la cámara infrarroja: **(valor = 1 punto)**

- a) Aumenta la luz visible del entorno
- b) Detecta la luz no visible que proviene de los animales
- c) Detecta las células animales
- d) Tiene un radar sónico

7. Se puede decir que la radiación térmica es: **(valor = 1 punto)**

- a) Cuando sentimos calor por estar cerca de un objeto a una temperatura muy elevada
- b) Un tipo de radiación electromagnética
- c) Energía que se transfiere debido a una diferencia de temperaturas
- d) Lo que empieza a generar un suéter cuando nos lo ponemos

8. En un calentador de agua solar, ¿qué es lo que provoca el aumento de temperatura del agua? **(valor 1 punto)**

- a) El aire caliente que está en contacto con el calentador.
- b) La energía de las ondas electromagnéticas provenientes del Sol.
- c) La electricidad de la luz que viene del Sol.
- d) La diferencia de temperatura entre el ambiente y el agua.

9. Un fotón es la partícula portadora de todas las formas de radiación electromagnética, como se demostró en clase las ondas electromagnéticas transportan energía. En los paréntesis enumera del 1 al 5 de menor a mayor energía. Donde 1 es el fotón con menor energía y 5 es el fotón con mayor energía **(valor 1 punto).**

- () Luz roja
- () Rayos X
- () Infrarrojo
- () Rayos gama
- () Ondas de radio

B) Explica brevemente y con tus propias palabras lo que se te pide.

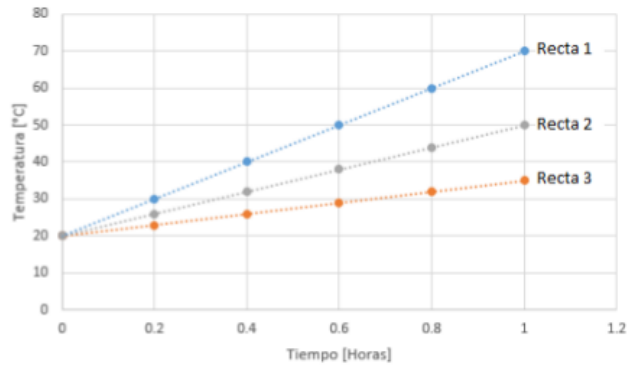
1. En un curso de física en el CCH se construyen tres calentadores solares caseros los tres son iguales salvo que se pintan de distintos colores, uno es de color blanco, otro de color negro y el último de color rojo. Las siguientes gráficas muestran los resultados experimentales obtenidos al haber dejado los calentadores solares bajo la radiación solar durante una hora, midiendo la temperatura del agua de cada calentador solar cada 0.2 horas. ¿Escribe a qué calentador solar corresponde cada recta de la gráfica? (valor = 2 puntos)

Recta 1: Color del calentador: _____

Recta 2: Color del calentador: _____

Recta 3: Color del calentador: _____

Explica tu respuesta:



2. Algunas características de las ondas electromagnéticas es que pueden ser absorbidas, reflejadas y emitidas. Describe un ejemplo donde puedas observar cada fenómeno. Para ser más claro puedes acompañar con un dibujo tu descripción. (valor = 2 puntos).

Absorbidas:

Reflejadas:

Emitidas:

3. La ley de Stefan-Boltzman relaciona dos magnitudes físicas: Una microscópica la cual podemos asociarle a cosas muy pequeñas como un electrón, moléculas, etc. Y la otra es una variable macroscópica la cual podemos asociar a sistemas grandes como el Sol o el cuerpo humano. ¿Cuáles son estas magnitudes físicas? Explica tu respuesta. (valor 1 punto).

C) Resuelve los siguientes problemas. Puedes usar la parte de atrás de la hoja para hacer cálculos.

1. Una estrella se encuentra emitiendo fotones con todas las longitudes de onda del espectro electromagnético. Sin embargo emite la mayor parte de su energía (el 65 %) por medio de fotones cuya longitud de onda corresponde a un color azul ($\lambda_{azul} = 4.4 \times 10^{-7} \text{metros}$).
- a) ¿A qué temperatura se encuentra la estrella? (valor = 2 puntos)
- b) ¿Cuánta toda la energía que emite en 5 segundos en dos metros cuadrados de su superficie? (valor = 2 puntos)
- c) ¿Cuántos fotones, correspondientes al color azul ($\lambda_{azul} = 4.4 \times 10^{-7} \text{metros}$) emite en 5 segundos? (valor = 2 puntos)

Formulario:

- **Energía radiante [J]:** Energía que transportan las ondas electromagnéticas (microondas, luz visible, rayos X, etc).
- **Ley de Wien:** $\lambda_{max} = \frac{0.0028976m \cdot K}{T}$
- **Ley de Stefan-Boltzman:** $E = \sigma T^4$ donde $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \frac{J}{s \cdot m^2 \cdot K^4}$
- **Ley de Planck, nos da la energía de un fotón de frecuencia ν :** $E = h\nu$, donde $h = 6.62 \times 10^{-34} Js$
- $\nu = \frac{c}{\lambda}$, donde ν es frecuencia, λ longitud de onda, c la velocidad de la luz en el vacío $3 \times 10^8 \frac{m}{s}$

Anexo VI. Tabla de Representación de contenido (Co.Re).

Grandes Ideas	A	B	C
Radiación de Cuerpo negro	Un cuerpo a una temperatura mayor a 0 Kelvin emite radiación térmica	Las ondas electromagnéticas transportan energía	Teóricamente es posible hacer invisible cualquier objeto.
¿Qué se pretende que los estudiantes aprendan de esta idea?	Que la radiación térmica es un tipo de radiación electromagnética que se genera por movimiento de las partículas cargadas que constituyen la materia a escala atómica.	Cualquier tipo de radiación electromagnética transporta energía, la cual puede ser detectada y aprovechada aunque esta sea invisible.	Que los objetos que observamos es porque reflejan la luz (o la emiten) y nuestros ojos detectan esas ondas electromagnéticas. Dependiendo de la absorción y reflexión de la luz visible observamos de un determinado color los objetos.
¿Por qué es importante para los estudiantes saber esto?	Saber identificar noticias falsas, pues muchas de estas afirman lo perjudicial de la radiación electromagnética, el alumno identificará este concepto como común en nuestro entorno.	1. Comprenderán que la energía solar es un recurso disponible en grandes cantidades y es la posible solución al cuidado del medio ambiente. 2. Conozcan porque no es buena idea quedarse a tomar el sol mucho tiempo.	Para saber qué color de ropa utilizar una tarde calurosa. Tener espacios iluminados en el hogar.
Dificultades o limitaciones para enseñar esta idea (complejidad del concepto)	Hacer ver al alumno que esa sensación de "calor" proveniente de un objeto a una elevada temperatura en realidad es la energía que transportan las ondas electromagnéticas que emite el objeto y están absorbiendo.	Las ondas electromagnéticas son invisibles, entonces no pueden transportar energía ni interactuar con la materia.	El alumno deberá comprender las diferencias conceptuales; emisión, reflexión y absorción de la luz visible, así como los fenómenos de aumento de temperatura involucrados en estos procesos.
Conocimiento de los estudiantes que influye para enseñar esta idea (ideas previas)	Creen que lo que sienten que proviene de un objeto a una elevada temperatura es calor y no radiación electromagnética. El uso cotidiano de "hace frío o calor" sin identificar el ceder o ganar energía debido a una diferencia de temperaturas.	Confunden el aumento de temperatura debido a la radiación con la conducción del calor, <i>"el agua de un calentador solar incrementa su temperatura por estar en contacto con el aire caliente"</i>	Al no conocer como que es lo que detectan nuestros ojos, piensan que la invisibilidad es ciencia ficción y no es posible ni de forma teórica.
Procedimientos de enseñanza y razones para usarlos en la enseñanza de esta idea	1.El profesor mostrará imágenes tomadas con una cámara infrarroja. Cuestionará a los alumnos el por qué la cámara puede captar a un animal en una noche completamente oscura sin luz visible. Paulatinamente se llegará a explicación que la cámara detecta la radiación térmica infrarroja que emite el animal.	1. Actividad de la construcción grupal de una tabla del espectro electromagnético haciendo énfasis en que tipo de radiación electromagnética es peligrosa y porque.	1. Uso de simulador PhET 2. Consultar los videos de YouTube: <i>"Tercer clasificado en Famelab España Miguel Abril"</i> <i>"uso de metamateriales para crear un campo magnético artificial"</i> 3 Experimento de absorción de radiación electromagnética según el color de botellas con agua pintadas de distintos colores y una forrada con papel aluminio
Formas para determinar la comprensión o confusión de los estudiantes de esta idea	Comparando las ideas previas con las preguntas abiertas de una prueba escrita, no se recomienda que transmitan lo aprendido de forma oral ya que tendrán un menor tiempo en organizar sus ideas.	Que en una pregunta de examen identifiquen de mayor a menor que tipo de radiación electromagnética es más peligrosa para un ser humano.	Que mediante un reporte de laboratorio expliquen porque el agua de la botella negra está a mayor temperatura que el agua de la botella blanca.

Grandes Ideas Radiación de Cuerpo negro	D Un cuerpo negro absorberá toda la radiación electromagnética que incide sobre él.	E. La energía emitida en forma de radiación electromagnética por un cuerpo negro depende solo de su temperatura. La longitud de onda de una O.E.M emitida por un cuerpo negro es inversamente proporcional a su temperatura.	F. Un fotón es la partícula portadora de todas las formas de radiación electromagnética (gamma, rayos X, ultravioleta, luz visible, infrarrojo, microondas y ondas de radio). La energía que transporta es proporcional a su frecuencia.
¿Qué se pretende que los estudiantes aprendan de esta idea?	Que un excelente emisor de radiación electromagnética también será excelente para absorber la radiación electromagnética.	Relación entre la energía que emite un cuerpo negro, en forma de radiación electromagnética y su temperatura. Los conceptos involucrados en la ley de Stefan-Boltzman y la ley de desplazamiento de Wien.	Que modifiquen su comprensión de las O.E.M y adopten el concepto de que la energía se propaga en paquetes (partículas) y no de forma continua.
¿Por qué es importante para los estudiantes saber esto?	Para poder aterrizar este concepto a superficies de color negro y luz visible y poder construir un calentador solar eficiente.	Astronomía básica, referente al color de las estrellas y su temperatura.	Que el alumno conozca el funcionamiento de las celdas fotovoltaicas y visualice el potencial de estas para producir energía eléctrica limpia.
Dificultades o limitaciones para enseñar esta idea (complejidad del concepto)	Aceptar el comportamiento poco predecible de la distribución de radiación de cuerpo negro, como válido. Aproximaciones reales a un cuerpo negro ideal (sol, cavidad tiznada de negro por dentro).	Que apliquen mal: las matemáticas, las unidades de medición. Dificultad en identificar los conceptos físicos involucrados en las ecuaciones.	Concepto de dualidad onda-partícula complejo y abstracto. No se puede visualizar directamente, pues el descubrimiento fue un resultado matemático.
Conocimiento de los estudiantes que influye para enseñar esta idea (ideas previas)	Extrañeza al aceptar que un buen emisor también es bueno para absorber. La intuición de los estudiantes es que un objeto que absorbe es bueno almacenando la energía que absorbió.	Los estudiantes suelen asociar el color rojo a un objeto de elevada temperatura y el azul como un color "frío", idea que confunde a los alumnos al razonar problemas con este contexto.	Se enseñó a los alumnos que una onda electromagnética se propaga de menos infinito a infinito de forma continua y no en "paquetes". <i>"La M.C no tiene aplicaciones en la vida cotidiana"</i>
Procedimientos de enseñanza y razones para usarlos en la enseñanza de esta idea esta idea	1. Utilizar el Modelo de Adquisición de Conceptos guiando una discusión con ejemplos y no ejemplos de lo que es un cuerpo negro. Los alumnos deberán tener los conocimientos previos requeridos para participar en la dinámica. 2. Explicar la distribución de radiación de un cuerpo negro con un simulador PHET.	1. En un aprendizaje colaborativo utilizar el modelo de Divisiones de aprovechamiento de equipos de alumnos (STAD) para resolver problemas que requieran un nivel alto de razonamiento y manejo de información. 2. Dar un contenido histórico del problema.	1. Explicar la solución de la catástrofe del UV y la solución de Planck de manera gráfica. 2. Hacer actividades experimentales con celdas fotovoltaicas para explicar el efecto fotoeléctrico.
Formas para determinar la comprensión o confusión de los estudiantes de esta idea	El alumno, en una prueba de evaluación, pueda brindar una definición de un cuerpo negro y pueda citar ejemplos aproximados a un cuerpo negro ideal.	Que el alumno aplique los conceptos involucrados en las ecuaciones (Stefan-Boltzman y ley de desplazamiento de Wien) para aplicarlos en la solución de problemas que requieran un nivel avanzado de razonamiento y manejo de información.	El alumno explicará el efecto fotoeléctrico. Que puedan calcular y comparar la energía de distintos fotones con distinta frecuencia, determinará a qué tipo de radiación electromagnética corresponde cada cálculo.

Anexo VII. La Radiación de Cuerpo Negro y sus antecedentes.

Este anexo tiene como objetivo brindar un apoyo al profesor interesado en la secuencia didáctica que se aplicó en el presente trabajo de tesis, abordando de manera breve tanto los antecedentes, como la explicación del problema de la radiación de cuerpo negro, desde el punto de vista teórico, histórico y social, ya que éstas son las principales ramas desde las cuales se pretendió abordar la secuencia didáctica.

Antecedentes conceptuales para comprender el problema

El problema de la radiación de cuerpo negro surgió a finales del siglo XIX y continuó durante el principio del siglo XX, al encontrarse una serie de inconsistencias entre las teorías de la física clásica existente y los datos experimentales obtenidos al analizar la distribución espectral de la radiación electromagnética emitida por un cuerpo negro. En este anexo se explicará brevemente la manera en la que Max Planck resolvió este problema, dando como resultado una nueva rama de la física, la mecánica cuántica.

Si bien Albert Einstein mencionó que no terminaba de entender por completo el concepto de luz y seguramente moriría sin entenderlo, es de interés para comprender el tema central de este trabajo entender en una primera aproximación ¿qué es la luz? Para introducir este concepto es conveniente situarnos en la primera mitad del siglo XIX, cuando la teoría ondulatoria de la luz ya era apoyada fuertemente por los experimentos de difracción de la luz, realizados por Agustín Fresnel en 1818 y por los cuales recibió el premio de la Academia Francesa de Ciencias de París al año siguiente. En un principio, los trabajos de Fresnel fueron poco reconocidos y algunos fueron publicados después de su muerte. Sin embargo, para él esto era de poca importancia, pues como él mismo le escribió a Thomas Young en 1824, pocos años antes de su muerte:

“Todos los cumplidos recibidos de Arago, Laplace y Biot nunca me dieron tanto placer como el descubrimiento de la verdad teórica o la confirmación de un cálculo por medio de un experimento”^[1]

Por su parte, Thomas Young también era un gran defensor de la teoría ondulatoria de la luz y con su célebre experimento de la doble rendija, en el que hizo pasar un rayo de luz a través de dos rendijas paralelas y observó un patrón de interferencia de la luz en una pantalla, demostró, en 1801, que la luz se comporta como una onda.

En 1849, Hippolyte Fizeau y Léon Foucault publicaron un trabajo sobre los resultados experimentales que habían obtenido al medir la velocidad de la luz. El experimento inicial que realizaron fue propuesto por Fizeau y consistía en colocar una fuente de luz y un espejo separados entre sí una distancia de 8 Km. Entre la fuente y el espejo colocaron una rueda dentada que giraba a cientos de revoluciones por segundo. Cabe mencionar que esta velocidad se podía controlar (ver figura 1).

Cuando la luz pasaba por una ranura y era reflejada en el espejo, el haz reflejado era obstruido por el diente siguiente. Así pues, conociendo la velocidad de giro y la distancia al espejo se podía calcular la velocidad de la luz. El resultado inicial de Fizeau fue de 315 000 Km/s. ^[2]

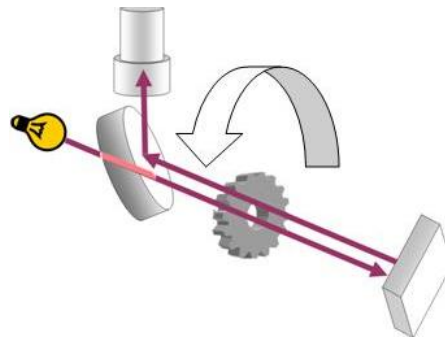


Figura 1. Montaje experimental de Fizeau para determinar la velocidad de la luz

Posteriormente, con la colaboración de Foucault y mejorando este experimento, ambos obtuvieron una velocidad de 298 000 Km/s. Fizeau y Foucault fueron los primeros en obtener un valor preciso de la velocidad de la luz. Sin embargo, esto no era un cuestionamiento nuevo, pues anteriormente Galileo había tratado de medir esta velocidad de una forma bastante inocente. Para ello, situó a un ayudante en una colina, quien tapaba y exponía la luz de una vela. Galileo trató de medir el tiempo que tardaba en llegar la luz desde la colina hasta donde él se encontraba. A pesar de que su experimento era poco eficiente para lograr el objetivo, sus conclusiones fueron acertadas y mencionó que la luz era muy rápida como para poder ser medida con su experimento. ^[3]

Ahora bien, en 1865, James Clerk Maxwell sentó las bases del electromagnetismo al establecer sus famosas ecuaciones, las cuales podemos resumir de la siguiente manera:

- **Ley de Gauss para el campo eléctrico**

En su forma integral, esta ley afirma que el flujo del campo eléctrico (ϕ_E) producido por una carga a través de una superficie cerrada que la encierra es igual a la carga encerrada ($Q_{enc.}$) entre la permitividad eléctrica del vacío (ϵ_0), esto es,

$$\phi_E = \oiint_{Sup} \vec{E}(r) ds = \frac{Q_{enc.}}{\epsilon_0}, \quad (1)$$

$$\nabla \cdot E = \frac{\rho}{\epsilon_0}, \quad (2)$$

donde ρ es la densidad de carga.

La permitividad eléctrica es una constante que describe cómo un campo eléctrico afecta y es afectado en un medio. En el caso del vacío $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$.

- **Ley de Gauss para el campo magnético**

Las líneas de campo magnético son líneas cerradas, es decir, la divergencia del campo magnético es cero.

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0, \quad (3)$$

$$\oiint_{Sup} \vec{B}(r) ds = 0. \quad (4)$$

Esta ley permite inferir la no existencia del monopolo magnético.

- **Ley de inducción de Faraday**

Establece que si se tiene un circuito cerrado a través del cual el flujo de campo magnético varía, con el tiempo se genera un campo eléctrico. Esto es, un campo magnético variable con el tiempo puede generar un campo eléctrico.

$$-\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = \nabla \times \vec{E} \quad (5)$$

$$\oint_C \vec{E} dl = - \oiint_{Sup} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} ds \quad (6)$$

- **Ley de Ampere-Maxwell**

En un circuito, una densidad de corriente (J) sumada a una corriente de desplazamiento genera un campo magnético que circunda el circuito

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (7)$$

donde μ_0 es la permeabilidad magnética del vacío. Otra forma de enunciar esta ley sería diciendo que la fuente de un campo magnético puede ser una corriente o un campo eléctrico que cambia con el tiempo.

Ahora bien, considerando que nos encontramos en el vacío y que no hay fuentes, podemos desacoplar las ecuaciones de Maxwell para obtener que el campo eléctrico satisface la ecuación de onda:

$$\nabla^2 \vec{E} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad , \quad (8)$$

mientras, que el campo magnético satisface la ecuación:

$$\nabla^2 \vec{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} \quad . \quad (8)$$

De estas ecuaciones se puede concluir que la luz es una onda electromagnética que se propaga en el vacío con una velocidad:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \sim 3 \times 10^8 \frac{m}{s} \quad . \quad (9)$$

Cuando Maxwell se dio cuenta de que este valor coincidía con las mediciones hechas por Fizeau y Foucault mencionó:

“Esta velocidad es tan próxima a la de la luz que tenemos razones suficientemente fuertes para concluir que la luz misma es una perturbación electromagnética y se propaga en forma de onda por medio del campo electromagnético de acuerdo con las leyes del electromagnetismo”.

En 1888, el físico alemán Rudolf Hertz comprobó la suposición de Maxwell de manera experimental. Para ello, construyó el circuito que se muestra en la figura 2, el cual consistía en dos esferas metálicas sometidas a una diferencia de potencial, pues se mantenían conectadas a un generador de fem variable. Cuando existía una diferencia de potencial lo suficientemente grande, existía un punto de ruptura del dieléctrico entre las esferas (aire) y “brincaba” una chispa entre ellas. Estas cargas en movimiento producen un campo magnético variable, el cual a su vez produce un campo eléctrico y, según la teoría de Maxwell, se generan en el espacio circundante ondas electromagnéticas, las cuales fueron detectadas por un receptor, también construido por Hertz, compuesto de un aro metálico conectado a un voltímetro que registraba un voltaje cuando la chispa saltaba entre las esferas del circuito.

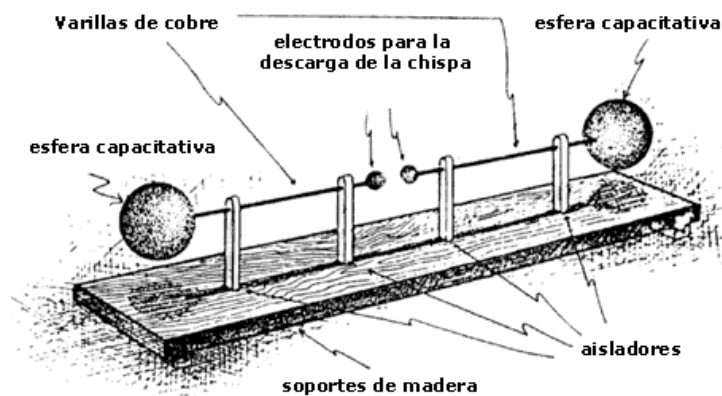


Figura 1. Dispositivo generador de ondas electromagnéticas de Hertz

De esta sencilla manera Hertz comprobó que, tanto para las ondas de radio como para las ondas luminosas, pueden observarse los fenómenos de reflexión, refracción, interferencia y polarización, integrando con ello la óptica al electromagnetismo.

Aunque en este trabajo no se menciona cómo producir otros tipos de ondas electromagnéticas, a partir de entonces no había impedimento para generar y estudiar ondas con diferentes frecuencias, dando origen a las distintas aplicaciones de las ondas electromagnéticas según su frecuencia, por ejemplo: la invención de la radio, cámaras infrarrojas, uso de luz UV en experimentos químicos, radiografías, etc. El estudio del espectro electromagnético (figura 3) había comenzado. ^[4]

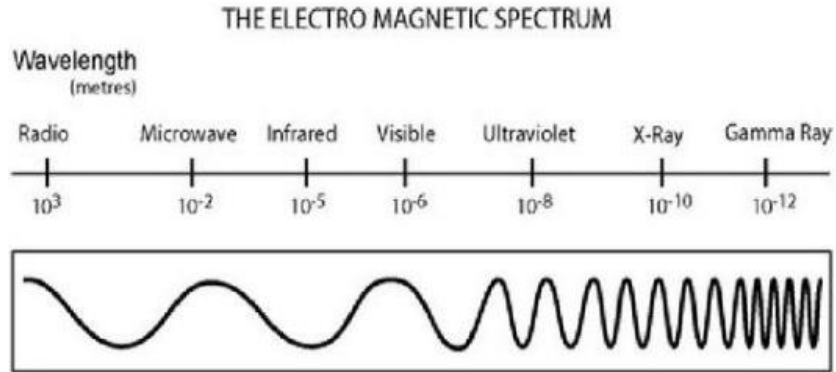


Figura 3. Espectro Electromagnético

Relación entre Electromagnetismo y Termodinámica

Una vez que se ha revisado por qué se unió la óptica al electromagnetismo y que la luz puede ser visible y no visible, dependiendo de la frecuencia de la onda electromagnética, conviene relacionar parte de la termodinámica con el electromagnetismo explicando el concepto de radiación térmica como:

“es un tipo de radiación electromagnética que se genera por el movimiento de las partículas cargadas que constituyen la materia a escala atómica” ^[5].

Dada la definición anterior, cabe señalar que según la física clásica, como consecuencia de la Tercera Ley de la Termodinámica, a la temperatura de cero grados Kelvin no habrá movimiento en los átomos que componen la materia, por lo tanto no habrá emisión de radiación térmica. Cualquier objeto que se encuentre a una temperatura mayor de cero grados Kelvin estará emitiendo radiación térmica, es decir, ondas electromagnéticas, o lo que es lo mismo, luz, ya sea ésta visible o no visible. Es decir, estos tres conceptos físicos son sinónimos, entendiendo como onda electromagnética: *“una combinación de un campo eléctrico y magnético oscilantes que se propagan a través del espacio y su dirección de propagación es perpendicular a estos campos, ésta se propaga transportando energía de un lugar a otro”* ^[6].

Ahora que se relacionó el punto de vista termodinámico, mediante la temperatura de los objetos, con el electromagnetismo es útil mencionar algunos ejemplos en los que se puede identificar lo anterior:

Las cámaras infrarrojas detectan la radiación térmica que es emitida por todo lo que nos rodea, animales, plantas, objetos, etc., esta radiación es procesada por la cámara infrarroja y forma una imagen en una pantalla (figura 4). Como dato histórico se puede mencionar que numerosos inventos útiles han sido creados con fines bélicos, las cámaras térmicas fueron inventadas en la guerra de Vietnam para que los aviones bombarderos detectaran a las tropas enemigas por las noches, sin embargo, en algunas ocasiones los bombarderos confundían a las tropas con elefantes salvajes masacrándolos.



Figura 4. Cámara infrarroja, detectando agua a temperatura elevada saliendo del grifo.

Otro ejemplo interesante se da cuando se incrementa la temperatura de algún objeto y éste pasa de emitir ondas electromagnéticas con una longitud de onda del infrarrojo a emitir luz visible. Este fenómeno se puede observar en numerosos casos de la vida cotidiana, por ejemplo:

Cuando los herreros calientan el metal para poder moldearlo con menos esfuerzo para fabricar espadas, hachas, picos, puntas, etc., observan que cuando el metal está muy caliente comienza a emitir luz (figura 5).



Figura 5. Metal a una temperatura elevada, que emite luz visible.

En una hornilla eléctrica o en un caudín para soldar también se puede observar que a máxima potencia el metal se pone al “rojo vivo”. Un foco de filamento de tungsteno funciona de la misma manera y en este caso la corriente eléctrica, o los electrones que pasan por el filamento y que colisionan en él, provocan un incremento de la temperatura del filamento hasta que éste comienza a emitir luz visible. Este sistema para emitir luz es muy poco eficiente ya que el filamento emite mayor cantidad de radiación térmica que de luz visible.

En los altos hornos, que se emplean para la fundición de metales, se observa también que, si se incrementa la temperatura, el metal fundido pasa de rojo a naranja a amarillo hasta casi ser blanco. En estos hornos se emplean los pirómetros ópticos, los cuales son un instrumento que calcula la temperatura del metal según el color que presenta. Para hacer esto se compara el color del metal fundido con el color de una resistencia por la cual pasa una corriente eléctrica y eleva su temperatura hasta que comienza a emitir luz; cuando ambos colores son iguales se sabe que tanto la resistencia como el metal fundido se encuentran a la misma temperatura ^[7] (la temperatura de la resistencia es conocida porque el instrumento de medición tiene un termómetro en su interior). Actualmente, existen estos instrumentos digitales. Con este ejemplo en particular se observa de forma práctica que el color que emita un metal será el mismo que emita otro metal de composición química distinta ya sea oro, plata, cobre, acero, hierro, etc., siempre y cuando se encuentren a la misma temperatura.

Desarrollo Histórico y Descripción del Problema

Gustav Robert Kirchhoff estudió la absorción y emisión de distintos cuerpos a distintas temperaturas y se dio cuenta de que un objeto blanco refleja casi toda la luz que recibe, es decir, es poco absorbente, mientras que los objetos de color negro eran muy buenos absorbentes. Kirchhoff se preguntó, en 1860, ¿cuál sería el emisor perfecto? necesariamente sería el absorbente perfecto, aquel que absorbiera toda la radiación que recibiera y le denominó cuerpo negro.

Entonces, Kirchhoff postuló: *“un cuerpo negro emite la máxima cantidad de radiación posible para la temperatura a la que se encuentra, independientemente de la sustancia de que esté hecho ni ninguna otra propiedad.”*^[8] Cualquier otro cuerpo que no sea negro pero esté a la misma temperatura que él emitirá radiación igual a la que emite el cuerpo negro multiplicada por el porcentaje de radiación que absorbe. Por ejemplo, si el objeto blanco del ejemplo absorbe el 10%, la cantidad de energía que emitirá será el 10% de la emitida por la roca negra.

Posteriormente se intentó obtener cuerpos negros de forma experimental, lo más parecido al ideal de Kirchhoff, tiznando objetos con humo negro o con hollín de chimenea, la superficie era mate y apenas reflejaba luz, pero no se acercaba al ideal de Kirchhoff. Hoy en día existen superficies que absorben 99.99% de la luz visible y se pueden realizar experimentos muy interesantes.^[9]

En 1879, el físico esloveno Joseph Stefan, a partir de datos experimentales de otros científicos que trabajaron con cuerpos negros, estableció que era posible calcular la cantidad total de energía radiada, por unidad de tiempo, por unidad de área, emitida por un cuerpo negro conociendo su temperatura, mediante la ecuación (10), la cual dedujo cinco años más tarde Ludwig Boltzmann, un alumno de Stefan. Esta ecuación es conocida como la ley de Stefan-Boltzmann.

$$E = \sigma T^4, \quad \text{donde } \sigma = 6.67037 \times 10^{-8} \frac{J}{m^2 s T^4} \quad (10)$$

De toda esta energía por unidad de tiempo, por unidad de superficie, emitida por un cuerpo negro, a una cierta temperatura, que ya se podía calcular con esta ley, faltaba conocer que parte de esta energía correspondía a cada longitud de onda que radiaba el cuerpo negro. Por lo que el problema seguía abierto para la comunidad científica.

Observaciones previas vislumbraban que todo objeto tiene asociada una longitud de onda correspondiente a la radiación máxima que emite. Para el año de 1893, el físico Wilhelm Wien utilizó la termodinámica clásica para calcular la longitud de onda máxima de la onda electromagnética que emite un gas a una determinada temperatura. Esta ecuación se conoce como la ley de desplazamiento de Wien (ecuación 11).

$$\lambda_{max} = \frac{0.0028976 \text{ mK}}{T} \quad (11)$$

Como se observa en la figura 6, se tiene una gráfica de la energía emitida en cada longitud de onda por un cuerpo negro contra la longitud de onda. La ley de desplazamiento de Wien relaciona la longitud de onda máxima de la radiación que emite el cuerpo negro con la temperatura a la que se encuentra el cuerpo negro, es decir, para este año solo se conocía el valor máximo de la energía que emite el cuerpo negro, representado con un punto en la gráfica de la figura 6.

También se conocía el área bajo la curva asociada con la ley de Stefan-Boltzmann, sin embargo, no existía una ley que describiera la magnitud de la energía transportada por las ondas electromagnéticas para cada longitud de onda, es decir, la línea punteada de la gráfica en la figura 6.

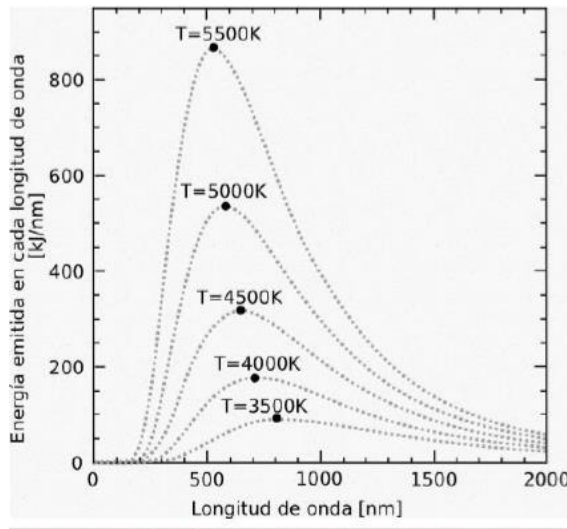


Figura 6. Gráfica de la energía emitida por un cuerpo negro vs la longitud de onda de las ondas electromagnéticas que éste emite

El problema seguía abierto para la comunidad científica, no obstante, con la ley de Wien inicia una nueva era en la astronomía, pues ya se podía saber a qué temperatura se encuentran las estrellas, conociendo la longitud de onda de la luz que emiten.

Para resolver el problema del arreglo experimental de un cuerpo negro, en 1895 Wien trabajó en colaboración con Otto Richard Lummer. Su solución consistió en pintar las paredes interiores de una cavidad con polvo de platino, el cual es muy oscuro y absorbente, pues se calcula que absorbe aproximadamente el 90% de la radiación correspondiente a la luz que incide sobre este polvo. Supongamos ahora que un rayo de luz entra por un pequeño orificio que tiene la cavidad (figura 7); el 90% de la radiación será absorbida por el polvo de platino y el 10% será reflejada. Sin embargo, es muy poco probable que ese rayo salga por el mismo orificio de la cavidad por el que entró, lo más probable es que vuelva a incidir en una pared interior de la cavidad, por lo que ahora se volverá a absorber el 90% de ese rayo de luz, que ya solo llevaba un 10% de la radiación original, es decir el rayo que se vuelva a reflejar tendrá ahora solo un 0.1% de la radiación correspondiente a la luz visible del rayo de luz incidente original. Si posterior a esto siguen existiendo reflexiones del rayo de luz en el interior de la cavidad, entonces se puede afirmar que este dispositivo es muy bueno para absorber la radiación que incide sobre éste y, por la definición de Kirchhoff, también será un muy buen emisor de radiación electromagnética. Para observar entonces la radiación de cuerpo negro a una cierta temperatura bastará con observar el comportamiento de la radiación que se emita a través del agujero. Así pues, es importante señalar que lo que se comporta como un cuerpo negro es solamente el agujero de la caja, mas no la caja completa.

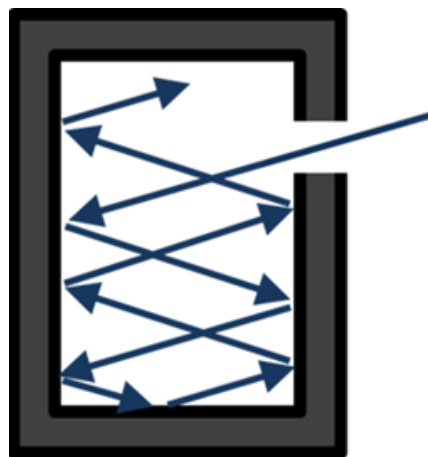


Figura 7. Esquema del dispositivo experimental, considerado cuerpo negro

Como se observa en la gráfica de la figura 6, se tienen cinco curvas, cada distribución de radiación de cuerpo negro corresponde a cinco objetos con temperaturas constantes a la que se mantiene el cuerpo negro; 3500K, 4000K, 4500K, 5000K y 5500K.

Con el arreglo experimental de Wien y Lummer se colocó un detector de radiación en el agujero de la cavidad, el cual midió cuanta energía emite el cuerpo negro para cada longitud de onda.

Solución al Problema de la Radiación de Cuerpo Negro

Wien, con los principios del electromagnetismo y la termodinámica, formuló una ecuación, la ley de distribución de Wien, hoy llamada aproximación de Wien (ecuación 12), la cual relaciona la temperatura del cuerpo negro y la frecuencia de la radiación que emite con la energía que transporta dicha radiación y se observó que solo funciona para frecuencias altas, es decir longitudes de onda pequeñas, como se observa en la gráfica de la figura 8.

$$E(\nu, T) = \alpha \nu^3 e^{-\frac{\beta \nu}{T}} \quad \text{donde } \nu, \alpha, \text{ son constantes} \quad (12)$$

El propio Wien reconoció que su expresión no coincidía con los datos experimentales observados. En 1911, Wien recibe el premio Nobel de Física por sus trabajos sobre radiación térmica. ^[10]

En 1905 Lord Rayleigh y Sir Jeans, ambos físicos británicos, publican la ley de Rayleigh-Jeans, la cual se expresa en la ecuación 13 y relacionan la frecuencia de la radiación de un cuerpo negro y la temperatura a la que se encuentra con la energía que transporta la radiación electromagnética que emite. Como se observa en la gráfica de la figura 8, ésta solo es una buena aproximación para la radiación correspondiente a frecuencias bajas.

Hasta este punto, con el uso de la termodinámica y electromagnetismo existente solo se podían obtener aproximaciones a un fenómeno experimental observado, esta situación fue denominada por Paul Ehrenfest la catástrofe del ultravioleta.

$$E(\nu, T) = \frac{8\pi \nu^2}{c^3} kT \quad \text{donde } k \text{ es la cte de Boltzman y } c \text{ la vel de la luz} \quad (13)$$

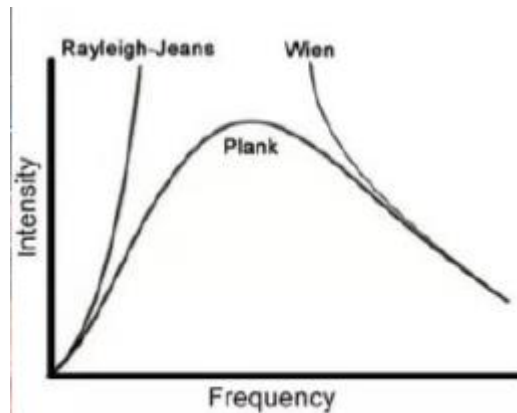


Figura 8. Distribución de la radiación de un cuerpo negro

El físico alemán Max Planck dio solución a este problema. Utilizando el electromagnetismo, la termodinámica y procesos de interpolación ajustó una ecuación (ecuación 14), la cual presentó y sometió a prueba en la reunión de la Sociedad de Física el 19 de octubre de 1900 en Berlín. El resultado fue satisfactorio, su ecuación obedece al comportamiento experimental de la radiación de cuerpo negro.

$$E(\nu, T) = \frac{8\pi}{c^3} \frac{b\nu^2}{e^{b/T} - 1} \quad \text{Donde } b \text{ es una constante} \quad (14)$$

La deducción de la ecuación 14, se amplía en la referencia número 11, este proceso se omite en este anexo por cuestión de extensión.

Después de observar los resultados satisfactorios, Planck se dedicó a darle significado físico a su ecuación. Si bien estaba basada en la física conocida, la constante b aún quedaba por ser determinada dándole una justificación teórica. Para ello, Planck consideró la relación ente entropía y probabilidad, descrita y desarrollada por Boltzmann, haciendo el siguiente desarrollo ^[11]:

Sea S_N un sistema de N osciladores, dentro del cuerpo negro, de frecuencia ν y energía media U cada uno. Entonces, la energía total estará determinada por:

$$U_N = UN \quad (15)$$

Por otra parte, esta energía total U_N consta de P elementos, cada uno con energía ϵ , es decir:

$$U_N = UN = P\epsilon \quad (16)$$

De las ecuaciones (15) y (16), se tiene que:

$$P = \frac{UN}{\varepsilon} \quad (17)$$

Ahora, de la ecuación de Boltzmann se tiene que:

$$S_N = k \ln(\Omega) \quad (18)$$

Donde Ω es el número de estados posibles de distribución de los P elementos de energía ε de los N osciladores, número que se calcula con estadística y queda expresado como:

$$\Omega = \frac{(N + P - 1)!}{(N - 1)! P!} \quad (19)$$

Sustituyendo la ecuación (19) en la ecuación (18) y aplicando la aproximación de Stirling: **$\ln(x) = x \ln(x) - x$** , se tiene:

$$S_N = k[(N + P) \ln(N + P) - N \ln N - P \ln P] \quad (20)$$

Sustituyendo la ecuación (17), en la ecuación (20) y factorizando N, se tiene:

$$S_N = kN \left[\left(1 + \frac{U}{\varepsilon}\right) \ln \left(1 + \frac{U}{\varepsilon}\right) - \frac{U}{\varepsilon} \ln \frac{U}{\varepsilon} \right] \quad (21)$$

La ecuación (20) representa la entropía para N osciladores, la entropía por oscilador individual será:

$$S = k \left[\left(1 + \frac{U}{\varepsilon}\right) \ln \left(1 + \frac{U}{\varepsilon}\right) - \frac{U}{\varepsilon} \ln \frac{U}{\varepsilon} \right] \quad (22)$$

Utilizando la definición de temperatura que la relaciona con el cambio de entropía: $\frac{1}{T} = \frac{\partial S}{\partial U}$, se deriva la ecuación (22) respecto a la energía y se tiene que:

$$\frac{1}{T} = k \frac{\partial}{\partial U} \left[\left(1 + \frac{U}{\varepsilon}\right) \ln \left(1 + \frac{U}{\varepsilon}\right) - \frac{U}{\varepsilon} \ln \frac{U}{\varepsilon} \right] \quad (23)$$

$$\frac{1}{T} = \frac{k}{\varepsilon} \ln \left(1 + \frac{\varepsilon}{U}\right) \Rightarrow e^{\frac{\varepsilon}{kT}} = 1 + \frac{\varepsilon}{U} \Rightarrow U = \frac{\varepsilon}{e^{\frac{\varepsilon}{kT}} - 1} \quad (24)$$

Previamente Planck había calculado una ecuación con el electromagnetismo y la termodinámica, la cual está expresada como:

$$E(v, T) = \frac{8\pi v^2}{c^3} U \quad (25)$$

Finalmente, sustituyendo la tercera ecuación de (24) en la ecuación (25) se tiene la ley de distribución de radiación de Planck, la cual modela el comportamiento de los datos experimentales (figura 8) y resuelve la catástrofe del ultravioleta, la ley queda escrita como:

$$E(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{\varepsilon}{e^{\frac{\varepsilon}{kT}} - 1} \quad (26)$$

Comparando la ecuación (26) con la que ajustó Planck a los datos experimentales, ecuación (14), se obtiene el valor de la constante:

$$b = \varepsilon = h\nu \quad (27)$$

De la ecuación (27) que obtuvo Planck se puede concluir, que la energía de una onda electromagnética que emite un cuerpo negro depende solo de su frecuencia multiplicada por la constante de Planck y por un número entero. Por esta contribución a la física, Planck obtiene el premio Nobel de Física en 1918 y es considerado el fundador de la mecánica cuántica. Hasta ese entonces, desde el cálculo inventado por Newton, la física era considerada continua, siendo esta explicación a la distribución de radiación de un cuerpo negro una revolución en la ciencia que traería la explicación de Einstein al efecto fotoeléctrico, el modelo atómico de Bohr y el inicio del estudio de las partículas elementales.

Referencias Anexo VII. La Radiación de Cuerpo Negro y sus antecedentes:

- [1] Agustin Jean Fresnel. (s. f.). jrank. Recuperado 23 de marzo de 2019, de http://encyclopedia.jrank.org/FRA_GAE/FRESNEL_AUGUSTIN_JEAN_1788_1827.html
- [2] Laugine, P. (s. f.). Measuring Speed of Light: Why ? Speed of what? Fifth International Conference for History of Science in Science Education. Recuperado 25 de marzo de 2019, de <https://web.archive.org/web/20150704043700/http://sci-ed.org/documents/Lauginie-M.pdf>
- [3] Laugine, P. (s. f.). Measuring Speed of Light: Why ? Speed of what? Fifth International Conference for History of Science in Science Education. Recuperado 25 de marzo de 2019, de <https://web.archive.org/web/20150704043700/http://sci-ed.org/documents/Lauginie-M.pdf>
- [4] Electrical Communication. New York: International Standard Electric Corp. Worldradiohistory. (s. f.). Recuperado 23 de marzo de 2019, de <https://www.americanradiohistory.com/Archive-ITT/20s/ITT-Vol-06-1927-02.pdf>
- [5] Wikipedia contributors. (s. f.). Thermal radiation. Wikipedia. Recuperado 28 de abril de 2019, de https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_radiation
- [6] colaboradores de Wikipedia. (s. f.). Radiación electromagnética. Wikipedia, la enciclopedia libre. Recuperado 5 de abril de 2019, de https://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n_electromagn%C3%A9tica
- [7] Wikipedia contributors. (s. f.-a). Pyrometer. Wikipedia. Recuperado 5 de abril de 2019, de <https://en.wikipedia.org/wiki/Pyrometer>
- [8] Electromagnetic radiation - Relation between electricity and magnetism. (s. f.). Encyclopedia Britannica. Recuperado 4 de abril de 2019, de <https://www.britannica.com/science/electromagnetic-radiation/Relation-between-electricity-and-magnetism#ref307462>
- [9] YouTube. (2018, 9 noviembre). Darker Than Vantablack—Absorbs 99.9923% of Light. <https://www.youtube.com/watch?v=JoLEliza9Bc&feature=youtu.be>
- [10] Gómez-Esteban, P. (2012, 30 mayo). Premios Nobel - Física 1911 (Wilhelm Wien) - El Tamiz. Premios Nobel - Física 1911 (Wilhelm Wien). <https://eltamiz.com/2012/05/30/premios-nobel-fisica-1911-wilhelm-wien/>
- [11] Andrés Rivadulla. La solución revolucionaria de Planck del problema de la radiación del cuerpo negro. Recuperado 4 de abril de 2019, de <https://drive.google.com/open?id=1b-AhGRP2Zrf1IRlymcF3ig1vkBfl9N3C>

Imágenes Anexo VII. La Radiación de Cuerpo Negro y sus antecedentes:

[1] Schematic of the Fizeau apparatus. The light passes on one side of a tooth on the way out, and the other side on the way back, assuming the cog rotates one tooth during transit of the light. (s. f.). [Figura]. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Fizeau%E2%80%93Foucault_apparatus

[2] Esquema del aparato generador de ondas electromagnéticas construido por Hertz. (s. f.). [Esquema]. XV. HERTZ. ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS. http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/112/htm/sec_17.htm

[3] Cámara infrarroja, detectando radiación térmica del agua a temperatura elevada saliendo del grifo. (s. f.). [Fotografía]. Pinterest. <https://www.pinterest.es/marishasiete/5-radiaci%C3%B3n-electromagn%C3%A9tica/>

[5] Hierro al rojo vivo. (s. f.). [Fotografía]. Al rojo vivo. Decoaración en Hierro Pinterest. <https://www.pinterest.es/pin/358036239112274040/>

[6] Ley de desplazamiento de Wien. Él obtuvo los puntos máximos, no las funciones representadas en gris. (s. f.). [Gráfica]. Premios Nobel - Física 1911 (Wilhelm Wien). <https://eltamiz.com/2012/05/30/premios-nobel-fisica-1911-wilhelm-wien/>

[7] Diagrama de un cuerpo negro de Lummer-Wien (s. f.). [Diagrama]. Premios Nobel - Física 1911 (Wilhelm Wien). <https://eltamiz.com/2012/05/30/premios-nobel-fisica-1911-wilhelm-wien/>

VII. Referencias

- Anderson, L. W., Krathwohl, D. R. (2001). *A taxonomy for learning, teaching and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. (pp 38-41) Abridged Edition. New York: Addison Wesley Longman.
- Cheung, D. (2018). *The key factors affecting students' individual interest in school science lessons*. International Journal of Science Education. Vol. 40. No. 1. 1 – 23
- Dewey, J. (1995). *Democracia y educación*. Ediciones Morata. Madrid
- Díaz-Barriga, F., (2006). *Enseñanza situada: Vínculo entre la escuela y la vida*. McGraw-Hill
- Durkheim, E. (1922). *Éducation et sociologie*. Presses Universitaires de France, París.
- Eggen, P. D., Kauchak, D. P., Eggen, K. P. (2001). *Estrategias docentes: Enseñanza de contenidos curriculares y desarrollo de habilidades de pensamiento*. Tercera Edición. Fondo de Cultura Económica.
- Pozo, J.I., Gómez Crespo, M.A. (2008). *Aprender y enseñar ciencia*. 5ª ed. Morata. Madrid
- Soto, J., Navarro, J., Fernández, T. (2012). *Respuestas flexibles en contextos educativos diversos*.
- Ligioiz, M., Gamo, J., Flores, A., y Prado, F. (2015). *Neuromitos en educación. El aprendizaje desde la neurociencia*. Plataforma Editorial.
- Jones, D. (1991) *Teaching modern physics- misconceptions of photon can damage understanding*. Physics Education, 26, 93-98
- Russell, T. (2007). *Enacting a pedagogy of teacher education: Values, relationships and practices* (pp. 182–191). London: Routledge.
- Loughran, J. (2013). *Pedagogy: Making Sense of the Complex Relationship Between Teaching and Learning*. Curriculum Inquiry. Vol. 43.
- Loughran, J., Berry, A., Munhall, P. (2012). *Understanding and Developing Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge*. 2da ed. Sense Publishers. Boston.
- Joseph, W. (2006). *The Eight-Year Study: From Evaluative Research to a Demonstration Project, 1930-1940.*, Education Policy Analysis Archives.
- Hu, D., Zwickl, B. M. (2017). *Qualitative investigation of students' views about experimental physics*. Physical Review Physics Education Research, 13 (2), pp. 020134-1 020134-12.
- Ideas Previas. (2014). CDMX, México. Recuperado de:
<http://www.ideasprevias.ccadet.unam.mx:8080/ideasprevias/>

- Kanté, B., Germain, D., de Lustrac, A. (2009). *Experimental demonstration of non-magnetic metamaterial cloak at microwave frequencies*. Phys. Rev. B 80, 201104.
- Marulanda, J. I., Gómez, L. A. (2006). *Experimentos en el aula de clase para la enseñanza de la física*. Revista colombiana de física, 38 (2), pp. 699-702.
- McKeachie, W.J. (1999). *Teaching Tips. Strategies, Research and Theory for College and University Teachers*. Boston, Massachusetts: Houghton Mifflin.
- Morales, A. (2016). *Promisorio futuro de la energía solar fotovoltaica*. Avance y Perspectiva. Cinvestav. Vol. 2 No. 1. Pp. 50 – 53.
- Murayama K., Pekrun R., Lichtenfeld S., Hofe R. (2012). *Predicting Long-Term Growth in Students' Mathematics Achievement: The Unique Contributions of Motivation and Cognitive Strategies*. Society for Research in Child Development. Vol. 84, pp. 1475-1490.
- Programas de estudio, Colegio de Ciencias y Humanidades, UNAM (2016). Física_I_II.pdf. CDMX, México. Recuperado de:
https://www.cch.unam.mx/sites/default/files/programas2016/FISICA_I_II.pdf
- Programas de estudio, Colegio de Ciencias y Humanidades, UNAM (2016). Física_III_IV.pdf. CDMX, México Recuperado de:
https://www.cch.unam.mx/sites/default/files/programas2016/FISICA_III_IV.pdf
- Queman una torre 5G. (abril, 2020). CDMX, México. Recuperado de:
<https://www.sdpnoticias.com/sorprendente/queman-torres-5g-en-reino-unido-por-temor-al-coronavirus-covid-19.html>
- Rubo, Y., Tagüeña, J. (2004) Computación cuántica. ¿Cómo ves? UNAM. No. 64.
- Santaolalla, J. (2016). *El bosón de Higgs no te va a hacer la cama*. La Esfera de los Libros. Novena edición. pp. 100 – 102.
- Segura, A. (2005). *Mundos como la Tierra*. ¿Cómo ves? UNAM No. 80. Pp. 10 – 16.
- Torres Salas M.I., (2010). *La enseñanza tradicional de las ciencias versus las nuevas tendencias educativas*, Revista Electrónica Educare, pp 131-142, Vol 14. No. 1.
- Wilcox, B. R., Lewandowski, H. J. (2017). *Students' views about the nature of experimental physics*. Physical Review Physics Education Research, 13 (2), pp. 020110-1 020110-12.